



Національний технічний університет
«Харківський політехнічний інститут»



Освітньо-
мотиваційний
проект

Слідами CHORNOBYL

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
«ХАРКІВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ»

«СЛІДАМИ CHORNOBYL»

**Навчальний посібник
до циклу уроків освітнього проекту
для вчителів природничих дисциплін**

Рекомендовано
вченою радою НТУ «ХП»,
протокол № 9 від 01.11.2019 р.

Харків
НТУ «ХП»
2019

УДК 373.5.016

ББК 74.26

М 62

Рецензенти:

О.О. Мірошник, д-р техн. наук, проф. ХНТУСГ ім. П. Василенка

М.В. Гутник, кандидат істор. наук, доц. НТУ «ХПІ»

Мінакова К.О.

М 62 «Слідами CHORNOBYL»: навч. посіб. до циклу уроків освітнього проекту «Слідами Чорнобыль» / Мінакова К.О., Петров С.О., Радогуз С.А., Сокол Є.І., Томашевський Р.С., Лазуренко О.П., Сінческул О.Л., Лаврова І.О., Шестопалов О.В., Ільїнська О.І., Зайцев Р.В. – Харків: НТУ «ХПІ», 2019. – 112 с.

Посібник підготовлено колективом авторів з різних наукових та освітніх галузей як цикл уроків міждисциплінарного освітнього проекту «**Слідами CHORNOBYL**». На прикладі Чорнобильської техногенної катастрофи розглянуто фізичні та енергетичні основи роботи атомного реактора, хімічні та екологічні заходи з ліквідації наслідків аварії, а також її історичне та наукове значення. Посібник містить ілюстрації, довідкові дані у формі таблиць та схем, питання для самоперевірки та літературу для подальшого ознайомлення з матеріалом.

Для вчителів природничих дисциплін та учнів старших класів закладів середньої загальної освіти .

Табл. 11. Іл. 39 Бібліогр. 53

УДК 373.5.016

ББК 74.26

© К.О. Мінакова, С.О. Петров,
С.А. Радогуз, 2019 р.

"Чорнобиль" демонструє, що відбувається, коли суспільство перестає слухати науку, та що може статися, якщо освіта стане другорядною.

К.О. Мінакова

Зміст

Вступ.....	7
1. Ядерна фізика.....	9
1.1 Тема, мета та завдання уроку.....	9
1.2 Вступ.....	9
1.3 Загальні відомості про радіоактивні процеси.....	9
1.3.1 Радіоактивність.....	9
1.3.2 Радіоактивний розпад.....	13
1.3.3 Радіаційні одиниці.....	15
1.3.4 Природні та штучні радіонукліди.....	17
1.3.5 Природні радіоактивні серії.....	19
1.3.6 Процес поділу.....	19
1.4 Вступ до ядерної фізики.....	21
1.4.1 Енергія зв'язку. Енергія ядерних реакцій.....	21
1.4.2 Ядерні реакції, викликані нейтронами.....	23
1.4.3 Процес поділу та ланцюгова реакція поділу.....	24
1.5 Вступ до фізики реакторів.....	26
1.5.1 Коефіцієнт множення, оптимальність помірності. Основні види реакторів поділу.....	26
1.5.2 Спалювання – використання ядерного палива.....	31
1.5.3 Кінетичні аспекти.....	36
2. Енергетика.....	41
2.1 Тема, мета та завдання уроку.....	41
2.2 Вступ.....	41
2.3 Енергетичні ресурси та їх світові запаси.....	44
2.4 Атомні електричні станції (АЕС).....	45
2.5 Чорнобильська катастрофа.....	47
3. Хімія.....	49
3.1 Тема, мета та завдання уроку.....	49
3.2 Вступ. Проблематика ліквідації наслідків аварії на ЧАЕС.....	50
3.2.1 Гасіння реактора.....	50
3.2.2 Зниження пилоутворення.....	51
3.2.3 Дезактивація території, будівель та транспорту.....	53
3.3 Модель уроку.....	54
3.3.1 Гумати та гумінові кислоти.....	54

3.3.2 Дезактивація радіоактивно забруднених об'єктів.....	60
4. Екологія.....	69
4.1 Тема, мета та завдання уроку.....	69
4.2 Вступ.....	69
4.3 Екологічні наслідки Чорнобильської катастрофи.....	68
4.4. Вимірювання природної радіоактивності в класі.....	70
4.5 Висновки.....	73
5. Охорона праці та цивільний захист.....	75
5.1 Тема, мета та завдання уроку.....	75
5.2 Вступ.....	75
5.3 Атомна енергетика в Україні в наш час.....	76
5.4 Охорона праці на АЕС.....	78
5.4.1 Державна політика в галузі охорони праці.....	78
5.4.2 Заходи з охорони праці працівників на АЕС.....	79
5.5 Заходи цивільного захисту на випадок аварій та надзвичайних ситуацій на АЕС.....	82
5.6 Висновки.....	85
6. Альтернативна енергетика.....	86
6.1 Тема, мета та завдання уроку.....	86
6.2 Вступ.....	86
6.3 Види і переваги альтернативної енергетики.....	87
6.4 Недоліки альтернативної енергетики.....	89
6.5 Перспективи розвитку.....	92
7. Історія науки і техніки.....	93
7.1 Тема, мета та завдання уроку.....	93
7.2 Історичні аспекти: Розвиток атомної енергетики та будівництво ЧАЕС.....	93
7.3 Хроніка подій: від будівництва до катастрофи.....	94
7.4 Спогади ліквідаторів.....	99
7.5 Феномен Чорнобильської катастрофи в культурі та мистецтві	102
Список джерел інформації та рекомендованої літератури.....	104
Додаток 1 Художня, документальна література та періодика щодо Чорнобильської трагедії.....	108
Додаток 2 10 фактів про Чорнобиль.....	109

Вступ

Чорнобильська катастрофа — техногенна екологічно-гуманітарна катастрофа, спричинена двома тепловими вибухами і подальшим руйнуванням четвертого енергоблоку Чорнобильської атомної електростанції, розташованої на території України, в ніч на 26 квітня 1986 року. Катастрофа вважається найбільшою за всю історію ядерної енергетики, як за кількістю загиблих і потерпілих від її наслідків людей, так і за економічним збитком. Але крім цього це ще й історія подвигів, справжніх наукових відкриттів і геніальних технічних рішень. "Чорнобиль" демонструє, що відбувається, коли суспільство перестає слухати науку, і що може статися, якщо освіта стане другорядною.

«Слідами CHORNOBYL» – освітній проект, покликаний мотивувати учнів старших класів до вивчення природничих дисциплін.

Мета проекту:

- мотивація до вивчення природничо-математичних наук;
- популяризація інженерно-технічних та природничо-математичних спеціальностей;
- підготовка нового покоління, здатного приймати виклики майбутнього і створювати нові безпечні технології не тільки в енергетиці, але й інших сферах нашого життя.

Освітньо-мотиваційний проект «Слідами CHORNOBYL» демонструє, яким чином можна використовувати будь-яку загальновідому історичну подію як відправну точку для вивчення різноманітних наукових та технічних явищ. Так, на прикладі Чорнобильської техногенної катастрофи будуть розібрані фізико-хімічні принципи роботи джерела атомної енергії, основні технічні процеси, що відбувалися під час та після аварії, історичні аспекти катастрофи та енергетики як галузі в цілому.

Цей проект також направлений продемонструвати молоді наукові відкриття та впровадження, унікальні інженерно-технічні рішення, які були використані під час ліквідації наслідків аварії. Такий підхід дозволяє ввести аспекти багатопрофільної дисципліни у навчання та вказати на взаємозв'язки різних типів наук, що сприяє кращому розумінню учнями потреби у всебічному розвитку та мотивує вивчення природничих наук.

Начальний посібник містить вступ, сім незалежних розділів, які розраховані на 8 уроків, а саме: ядерна фізика (2 уроку), енергетика (1 урок), хімія (1 урок), екологія (1 урок), охорона праці (1 урок), альтернативна енергетика (1 урок), історія науки та техніки (1 урок), список джерел інформації та рекомендованої літератури.

Проект планується як проведення уроків в школах протягом квітня кожного року із закінченням курсу до 26 квітня, Міжнародного дня пам'яті про чорнобильську катастрофу. Посібник пропонує розглянути її як комплекс явищ з точки зору фізики, екології та основ здоров'я, хімії, і, безумовно, історії. Подібний підхід не тільки дозволяє ввести до навчання аспекти мультидисциплінарності та вказати на взаємозв'язки різних за своїм характером наук. Він також сприяє кращому усвідомленню школярами необхідності всебічного розвитку, мотивує до обрання технічних спеціальностей освіти та готує їх до вирішення завдань майбутнього.

І це є найважливішим питанням сьогодення, бо для запобігання та вирішення таких проблем, як техногенна катастрофа, необхідна велика кількість кваліфікованих фахівців, інженерів, технологів та розробників, знання яких ґрунтуються на математиці, фізиці, хімії та інших природничих та технічних науках. Щороку таких фахівців стає все менше. Така сама ситуація, на жаль, із кількістю школярів, що здають ЗНО з фізики та хімії.

1. Ядерна фізика

1.1 Тема, мета та завдання уроку

Тема уроку: принципи роботи ядерного реактора.

Мета уроку: розглянути основи ядерних процесів, ознайомитися з поняттям «радіоактивність» та основними фізичними процесами, вивчити та засвоїти основні поняття фізики реакторів.

Завдання уроку:

- сформулювати уявлення про будову атома та його ядра;
- вміти охарактеризувати три види (альфа-, бета-, гамма-) випромінювання;
- знати джерела природнього та штучного радіоактивного опромінення;
- визначити основні умови для початку ядерного поділу урану-235 та проаналізувати енергетичний вихід;
- сформулювати принципи роботи ядерних реакторів.

1.2 Вступ

У 1930-і роки були запаморочливі часи для ядерної фізики. «Хіт-парад» відкриттів дав тоді нові уявлення про властивості ядра. Були знайдені начебто підручні засоби розблокування величезної кількості енергії, що зберігається всередині ядра. Після відкриття ядерного поділу в 1938 році та початку нової ери в історії людства – ядерної доби [1], стало зрозуміло, що за ядерною енергетикою відтепер головна роль наукового та технологічного прогресу.

Процеси ядерного поділу і ядерного синтезу, як виявилось, дозволяють отримати величезну кількість енергії, що вивільняється за рахунок між'ядерних зв'язків. Важливість ядерного поділу для виробництва енергії очевидна. У реакціях поділу важке ядро розщеплюється на два більш легкі фрагменти та два-три нейтрони. Близько 180 МеВ енергії виробляється при поділі актиніду однією з найімовірніших дочірніх пар. Це означає, що 1 кг урану (^{235}U) здатний виробляти достатню кількість енергії, щоб утримувати електричну лампочку потужністю 100 Вт протягом приблизно 25 тис. років [2].

Розділення виникає через те, що ядра з атомним числом 92 і вище є настільки великими і багатими протонами, що вони нестабільні. Причи-

ною є вібрація великої амплітуди, від якої зароджується один з способів розпаду – ділення на два менші ядра і два-чотири вільних нейтрона. Вібрація амплітуди, достатня для спричинення цього поділу, може бути індукована у важкому ядрі шляхом поглинання відповідного енергетичного нейтрона. У випадку важких ядер з непарною кількістю нейтронів, таких як уран-233 (U-233), уран-235 (U-235), плутоній-239 (Pu-239) та плутоній-241 (Pu-241), поглинання нейтрона при дуже низькій енергії, пов'язаний з тепловим рухом при кімнатній температурі, достатньо для індукції поділу. Для важких ядер з парною кількістю нейтронів поділ може бути індукований лише в тому випадку, якщо поглинений нейтрон несе енергію мільйон електронів (MeV) або більше.

Залежно від кількості нейтронів, що вивільняються за час поділу, розподілу енергії, що надходить за рахунок нейтронів, щільності важких ядер поблизу та їх ймовірності поділу в залежності від енергії падаючого нейтрона та ймовірності непродуктивного поглинання нейтронів або їх втеча з околиць (які залежать від геометрії та складу матеріалів, що знаходяться під рукою), може статися так, що для кожного ядра, що ділиться, саме один з отриманих нейтронів викликає ще одне поділ. Ця ситуація відповідає ланцюговій реакції, яка є просто "критичною", в якій швидкість поділу, а отже, і швидкість вивільнення ядерної енергії не змінюються з часом. (Це було б, наприклад, у ядерному реакторі, що працює з постійним рівнем потужності.)

Якщо обставини такі, з іншого боку, що нейтронам, що виділяються кожним поділом, вдається викликати більше одного додаткового поділу, починається "надкритична" ланцюгова реакція, де швидкість поділу та швидкість вивільнення ядерної енергії зростають з часом. Це зростання може бути поступовим, як у ядерному реакторі під час фази запуску, коли його потужність збільшується від нуля до номінального виходу реактора, а може бути надзвичайно швидким, як у ядерної бомби.

Аналогічно, має місце неавтономна ланцюгова реакція (як це іноді відбувається, коли достатня кількість плутонію або збагаченого урану об'єднується в геометрично сприятливу для ланцюгової реакції відома як "аварія критичності". Ймовірності ядерної реакції виражаються у вигляді "поперечних перерізів" з розмірами площі, такі, що швидкості поділу або

нефіксованого захоплення пов'язані з потоком нейтронів N на квадратний сантиметр на секунду.

1.3. Загальні відомості про радіоактивні процеси

1.3.1. Радіоактивність

Матерія – це назва, дана матеріалам, з яких складається Всесвіт. Вона існує в чотирьох фізичних формах: тверді речовини, рідини, газу і плазма. Як виявляється, вся матерія складається з ряду простих речовин, званих елементами. Елементи – це речовини, які звичайними хімічними засобами неможливо розбити на простіші, менші речовини. На Землі існує 90 простих природних елементів, таких як кисень, водень та інші. У природі елементи можна зустріти, як правило, у вигляді стехіометрично пропорційних хімічних сполук двох та більше елементів (H_2O , SiO_2 і т.д.).

Елементи складаються з атомів. Атом складається з нейтронів і протонів, щільно скупчених у ядрі та оточених електронами, що рухаються навколо різних орбіт. Протон - це позитивно заряджена елементарна частинка ($q = +e$) із масою, у 1836 разів більшою за масу електрона. Нейтрон, навпаки, не має електричного заряду ($q = 0$), а маса трохи більша, ніж у протона. Поза межі ядра нейтрон не може існувати самостійно, оскільки він буде нестабільним і розпадатиметься на електрон, протон і антинейтрино. На рисунку 1.1 показано схематично атом гелію, який складається з двох протонів й двох нейтронів у ядрі та двох орбітальних електронів.

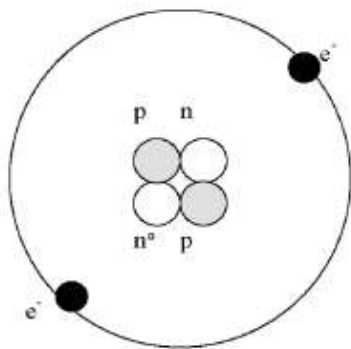


Рисунок 1.1. – Схематична будова атома гелію

Будь-який атом характеризується атомним числом Z , що є кількістю присутніх у ядрі заряджених частинок (протонів), і його масовим числом A , що дорівнює кількості нейтронів, N , плюс кількості протонів:

$$A = N + Z. \quad (1.1)$$

Нуклони (протони та нейтрони) в ядрі пов'язані між собою сильною силою тяжіння, а загальна енергія ядра менша, ніж енергія поділу. Енергія зв'язку – це кількість енергії, яка виділяється при формуванні ядра. Отже, вироблена енергія в реакторах ядерного поділу та плавких реакторах є енергією зв'язку паливних ядер.

Щодо поведінки стійких та нестабільних ядер зібрано величезну кількість інформації. Ця компіляція відома як діаграма нуклідів, і невелика її частина відтворена на рисунку 1.2. [3].

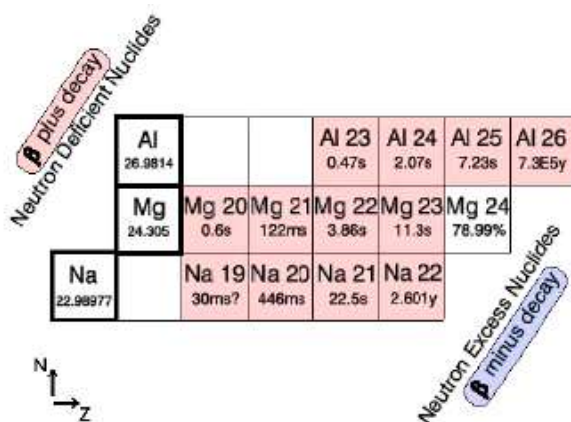


Рисунок 1.2. – Фрагмент діаграми нуклідів [3]

Згідно діаграми, атомне число Z побудовано вздовж осі x проти кількості нейтронів N вздовж осі y . Усі нукліди на одній горизонтальній лінії мають однаковий атомний номер, тоді як всі нукліди з однаковим масовим числом лежать уздовж діагоналі 45° , що проходить зліва направо. Коли елемент має різні масові числа для заданої кількості протонів, мова йде про його ізотопи. Вони можуть поводитися аналогічно в хімічних реакціях, проте їх ядерні характеристики дуже відрізняються. Хоро-

шим прикладом цього є природний уран та його три ізотопи $^{234}\text{U}_{92}$ (0,006%), $^{235}\text{U}_{92}$ (0,714%), $^{238}\text{U}_{92}$ (99,28%) (у дужках наведено атомний відсоток ізоотопу, присутній у природній урановій руді).

За допомогою процесу збагачення можна штучно збільшити відсоток одного ізоотопу у складі іншого. Так, процес виготовлення ядерного палива включає етапи збільшення кількості 235 атомів U відносно кількості 238 атомів U, оскільки легше викликати поділ 235 атомів U (розщеплення), ніж у набагато більш рясних ^{238}U . У легководних реакторах, збагачення від 2 до 5 % є загальним.

1.3.2. Радіоактивний розпад

Для деяких природних речовин, що складаються з нестабільних атомів, характерним є процес спонтанного перетворення на більш стабільні продукти. Ці типи речовин визначаються як радіоактивні, і процес перетворення відомий як радіоактивний розпад. Анрі Бекерель був першим вченим, який ще в 1896 році зрозумів, що деякі елементи були природним чином радіоактивними. Він спостерігав почорніння фотоплівки поблизу уранової сполуки. Згодом це було пов'язано з випромінюванням урану.

Нестабільні радіоактивні ядра є джерелом трьох основних видів променів: *альфа*-, *бета*- та *гамма*-випромінювання.

Альфа-частинка (α), є, по суті, ядром гелію (див. рис. 1.1). Це найбільш енергійний або густо іонізуючий, проте найменш проникаючий тип променів (альфа-частинки можна зупинити аркушем паперу). Хоча шкіра є природним захистом людини, альфа-промені можуть дуже нашкодити, якщо вони потраплять в організм через поріз, вдихання або прийом їжі чи води. Опинившись в організмі, альфа-частинка розпадається або віддає свою енергію, викликаючи сильно локалізовані пошкодження навколишньої тканини. Наприклад, якщо радіоактивний матеріал (наприклад, плутоній, який є довго живучим трансурановим ізоотопом та альфа-випромінювачем) потрапляє в легені, легенева тканина може поглинати більшу частину випромінювання.

Ядра важких елементів, таких як природний уран, настільки великі, що вони трохи нестійкі. Так, ядро урану-238, яке має 92 протони та 146 нейтронів, щоб мати більшу стабільність може випромінювати альфа-

частинку, зменшуючи при цьому кількість протонів і нейтронів і стає більш стійким. Маючи атомне число (Z) 90, це вже не є ядро урану, а ізотоп елемента торію (Th) з атомним номером 90 та масовим числом 234 і назвою Th - 234 або ^{234}Th .



Бета-випромінювання (β) складається зі швидкодіючих електронів, які беруть початок і випромінюються з ядра, що також приводить до стабілізації. Бета-випромінюванням називають електрон, якщо він має негативний заряд (β^-), та позитрон (β^+), якщо він має позитивний заряд. У повсякденному використанні термін бета-випромінювання зазвичай відноситься до негативних β -електронів. Коли один з нейтронів у ядрі перетворюється на протон, випромінюючи бета-частинку



це називається бета-емісією. У разі ^{234}Th , утвореного з альфа-розпаду ^{238}U , ядро додатково розпадається до протактинію 234 (^{234}Pa):



Гамма-випромінювання (γ) відноситься до класу, відомого як електромагнітне випромінювання. Цей тип випромінювання складається з квантів або пакетів енергії, що передаються у вигляді хвилі. Найбільш відомими з цього класу є радіохвилі та видиме світло. Інший тип електромагнітного випромінювання, який у більшості аспектів ідентичний гамма-випромінюванню, - це рентгенівські промені. Відмінність полягає в їх походженні: γ -промені є наслідком змін ядра, тоді як рентгенівські промені є результатом зміни швидкості електронів.

Енергія випромінювання виражається в одиницях, званих *електрон-вольтами* (eV). Один електрон-вольт - це енергія, отримана електроном при проходженні електричного потенціалу у один вольт. Оскільки це надзвичайно мала одиниця, енергія випромінювання зазвичай виражається в кілоелектронвольт (keV) або мегаелектронвольт (MeV).

$$1 \text{ MeV} = 1000 \text{ keV} = 1\,000\,000 \text{ eV}$$

Розпад радіоактивного зразка носить випадковий характер і тому є статистичним. Результатом цієї невизначеності є те, що закон радіоактивного розпаду має експоненціальний характер і виражається математично:

$$N = N_0 e^{-\lambda t}, \quad (1.5)$$

де N_0 – початкова кількість ядер; N – кількість ядер, присутніх у більш пізній час t ; λ – константа розпаду.

Період піврозпаду ($T_{1/2}$) радіоактивного елемента – це час, необхідний для розпаду половини ядер у зразку. Помістивши $N = N_0 / 2$ у рівняння (1.5), отримаємо: $N_0 / 2 = N_0 e^{-\lambda T_{1/2}}$.

Розділивши на N_0 і взявши логарифм, ми отримаємо: $\ln(1/2) = -\lambda T_{1/2}$ та $\ln(1/2) = -\ln(2)$, а період піврозпаду тоді:

$$T_{1/2} = \ln(2) / \lambda = 0,693 / \lambda. \quad (1.6)$$

Кількості нестабільних ядер прямопропорційна активність зразка A_K , отже її часова залежність також є експоненціальною (рис.1.3):

$$A_K = A_0 e^{-\lambda t}. \quad (1.7)$$

Так, за один період піврозпаду активність знижується до $1/2 A_0$ початкового значення, за два – до $1/4 A_0$ тощо. Цей метод може бути застосований до ізотопів, швидкість дезінтеграції яких помітно змінюється протягом відлікового періоду.

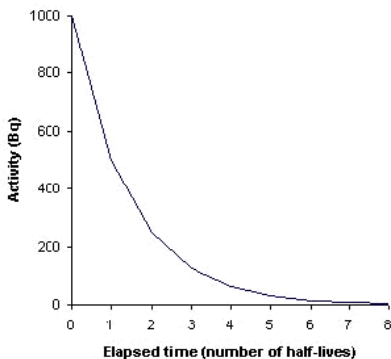


Рисунок 1.3 – Залежність активності від кількості напіврозпадів [4]

1.3.3. Радіаційні одиниці

Сьогодні у світі використовуються дві системи одиниць, що дозволяють кількісно виразити радіаційні поля, кількість випромінювання та радіаційні ефекти. Найпоширеніша система, System International (система СІ), поступово замінювала старі системи у більшості країн світу. Радіаційні одиниці оприлюднюються міжнародним науковим органом, Міжнародною комісією з радіаційних одиниць та вимірювань (МКРУ).

Термін опромінення використовується в звичайній системі для опису рентгенівського або гамма-випромінювального поля на тілі у будь-якій точці. Наявність гамма-променів на поверхні тіла можна виміряти за кількістю іонів або електронів, що утворюються в атмосфері поруч. Ця міра поля випромінювання особливо корисна в концепції захисту від радіації, оскільки біологічний вплив гамма-променів є функцією іонізації, яку вони виробляють в організмі. Коли іонізуюче випромінювання взаємодіє з матеріалом, воно може викликати іонізації. Ці іонізації можна виміряти, а вплив випромінювання можна оцінити. Одиницями для опромінення та вимірювання дози у більшості країн світу є одиниці СІ грей (Гр) та зіверт (Зв). У США прийняті одиниці Рад і Бер.

1 грей дорівнює 100 рад і є мірою поглиненої дози, D , (або енергії, що відкладається) у матеріалі. 1 зіверт дорівнює 100 Бер і базується на біологічному ураженні, спричиненому іонізацією в тканинах людини. Це термін еквівалентності дози і дорівнює біологічному пошкодженню, яке було б спричинене дозою 1 Гр. Одиниці (Зв) і (Бер) пояснюють той факт, що не всі типи випромінювання однаково ефективні у виробництві біологічних змін або пошкоджень. Іншими словами, збиток від 0,01 Гр (1 Рад), нанесений бета-випромінюванням, менший від шкоди, що завдається 0,01 Гр (1 Рад) альфа-випромінювання. Зв (або Бер) чисельно дорівнює дозі в Гр (або Рад), помноженій на коефіцієнт якості QF , який обумовлює різницю в кількості біологічної шкоди, спричиненої різними видами випромінювання. Коефіцієнт якості перетворює дозу в Гр (або Рад) в еквівалент дози, в Зв (або Бер). Як показано нижче, коефіцієнти якості найвищі для альфа-випромінювання, яке може депонувати свою енергію в найменшому обсязі.

Поглинена доза (D) \times QF = еквівалент дози (H)

1 Грей гамма випромінювання \times 1 = 1 Зіверт

1 Грей бета випромінювання $\times 1 = 1$ Зіверт

1 Грей випромінювання нейтрона $\times 10 = 10$ Зіверт

1 Грей альфа випромінювання $\times 20 = 20$ Зіверт

Одиниця рентген (R) використовувався зазвичай як міра впливу гамма- або рентгенівського випромінювання, однак за концепцією впливу рентген-оддиниця – загальноприйнятий офіційний запис дози. Радіаційні прибори обстеження також часто градуйовані в R чи кратних R одиницях.

Одиницею радіоактивності СІ є Бекерель (Бк), названий на честь його відкривача Анрі Бекереля, і визначається як один ядерний розпад в секунду. Розпад зазвичай передбачає викид однієї або більше заряджених частинок (α або β) і може супроводжуватися одним або декількома гамма-променями. У порівнянні з Кюрі, одиниця Бекерель надзвичайно мала, тому на практиці зручно використовувати кратні: кіло, мега, терра та інші.

Ще зовсім недавно одиницею радіоактивності був кюрі (Ки). Поряд з його різними підмножинами: тобто, мілікюрі (мКи); мікрокюрі (мкКи); нанокюрі (нКи), пікокюрі (пКи). Кюрі спочатку було пов'язано з активністю одного граму радію, але пізніше це визначення було стандартизоване як $3,7 \cdot 10^{10}$ розпадів в секунду. Зв'язок між старими та новими одиницями показано нижче:

$$1 \text{ Бк} = 2,7 \cdot 10^{-5} \text{ мкКи} = 2,7 \cdot 10^{-8} \text{ мКи} = 2,7 \cdot 10^{-11} \text{ Ки}$$

$$1 \text{ ТБк} = 2,7 \cdot 10^7 \text{ мкКи} = 2,7 \cdot 10^4 \text{ мКи} = 2,7 \text{ Ки}$$

Відповідно,

$$1 \text{ мКи} = 37 \cdot 10^3 \text{ Бк} = 0,037 \text{ МБк} = 3,7 \cdot 10^8 \text{ Бк}$$

$$1 \text{ Ки} = 3,7 \cdot 10^{10} \text{ Бк} = 3,7 \cdot 10^4 \text{ МБк} = 0,037 \text{ ТБк}$$

1.3.4. Природні та штучні радіонукліди

Нас повсякчас оточує природне випромінювання. Три його основні види за джерелом – це космічне, наземне та внутрішньо випромінюване. У дослідженнях радіаційної біології було зазначено, що дуже мала, але обмежена частка природних мутацій у клітинах повинна бути корисною, оскільки це сприяє еволюції вищих форм життя. З іншого боку, велика частина генетичних мутацій може привести до спадкових ефектів і генетичної смерті, так що ясно, що ці два ефекти досягли свого роду ба-

лансу, які дозволили людям розвиватися в цьому сучасний стан, незважаючи на природний радіаційний фон.

Серед природних радіоактивних елементів, що знаходяться в надрах землі в основному відзначають уран, торій, радій і калій. Щодо космічного випромінювання, його кількість на поверхні Землі значно зменшує щит атмосфери. Ця фільтрація означає, що доза на рівні моря менша, ніж на великих висотах (див. рис. 1.4). Деякі види діяльності, професії та райони піддають людей більшій, ніж середня доза природного фонового випромінювання. Наприклад, людина, яка живе на висоті 1,5 км, отримує майже вдвічі більше космічного випромінювання, ніж людина, яка живе на рівні моря. Так само висока концентрація радіоактивних мінералів у пляжних пісках, як у Бразилії та Індії, піддається місцевим жителям приблизно в десять разів більше середнього рівня природного опромінення.

Окрім цього природного фону, люди піддаються впливу кількох створених людиною джерел радіації, наприклад, від медичних застосувань (тобто рентгенівських променів) та товарів народного споживання (тобто кольорових телевізорів). Середня річна ефективна доза, еквівалентна особам у США, оцінюється в 3,6 мЗв (360 мБер), приблизно 10 мкЗв/добу (1 мБер/добу).

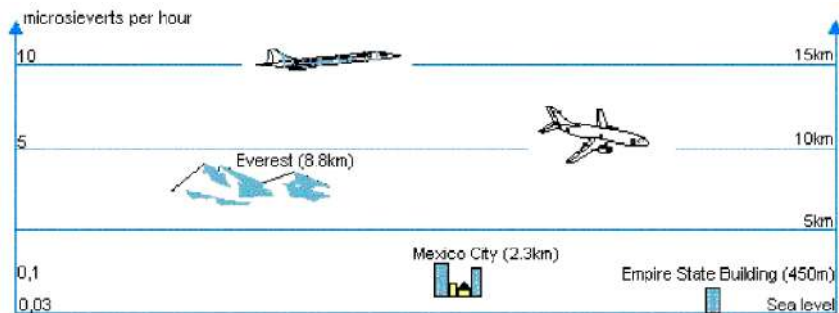


Рисунок 1.4 – Залежність дози (на годину) космічного випромінювання від висоти над рівнем моря [5]

Основна частина, 3 мЗв (300 мБер), надходить від природного фонового випромінювання і включає 2 мЗв (200 мБер) від радону та продуктів його розпаду, а 0,4 мЗв/рік (40 мБер/рік) від калію-40 (^{40}K). Найбільшим джерелом, створеним людиною, є медична діагностика і становить близько 0,5 мЗв/рік (50 мБер/рік). Споживчі товари вносять решту

0,1 мЗв/рік (10 МБек/рік). Ядерний паливний цикл, професійна практика та інші джерела, включаючи транспортування та випромінювання в результаті випробувань зброї, по суті є незначними.

1.3.5. Природні радіоактивні серії

Кілька десятків природних радіонуклідів є радіоактивними з періодом напіврозпаду принаймні такого ж порядку, як і приблизний вік Землі ($4,5 \cdot 10^9$ років), й імовірно, є її первинним запасом. Ці первісні радіонукліди відносять до ряду (серії) радіонуклідів, які розпадаються на стабільний ізотоп свинцю через ряд радіонуклідів із широким періодом напіврозпаду. У таблиці 1.1 представлені три радіоактивні серії, знайдені в природі, що називаються серія торію, урану-радію та актинія.

Таблиця 1.1 – Природні радіоактивні серії

Назва серії	Остаточне стійке ядро	Елемент з найбільшим часом життя
Торій	свинець-208 (^{208}Pb)	^{232}Th ($T_{1/2} = 1,39 \cdot 10^{10}$ років)
Уран-радій	свинець-206 (^{206}Pb)	^{238}U ($T_{1/2} = 4,50 \cdot 10^9$ років)
Актиній	свинець-207 (^{207}Pb)	^{235}U ($T_{1/2} = 8,52 \cdot 10^8$ років)

1.3.6. Процес поділу

Сам процес розділення відбувається, коли ядро поглинає нейтрон і розпадається на дві нерівні частини, відомі як фрагменти поділу, і викидає два або три швидкісні нейтрони. Деякі типи важких ядер, такі як уран і торій, зазнають спонтанного поділу з низькою швидкістю. Серед природних ізотопів лише процес поділу ^{235}U відбувається шляхом поглинання теплових (повільних) нейтронів. Але це становить лише 0,7% природного урану, решта 99,3% - урану-238. Щодо інших ізотопів, вони можуть ділитися шляхом додавання енергії, наприклад, бомбардуванням нейтронами.

Виділення енергії на поділ становить приблизно 200 MeV, це є переважно кінетична енергія у вигляді фрагментів поділу (рис. 1.5).



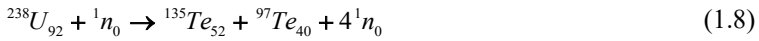
Рисунок 1.5 – Розподіл енергії розділення під дією теплових нейтронів (MeV)

Це швидко перетворюється в теплову енергію, яку можна використовувати в атомних електростанціях для створення тепла в паливних елементах. Для того, щоб ^{238}U ділився, нейтрон повинен мати кінетичну енергію щонайменше 1 MeV для швидкого нейтронного поділу.

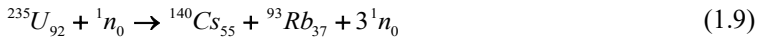
Важливою особливістю процесу поділу є те, що фрагменти поділу настільки нестабільні, що виділяють нейтрони, як правило, від 2 до 4 нейтронів за поділ. Більшість нейтронів випромінюються майже миттєво і називаються швидкими нейтронами, тоді як інші вивільняються через секунди або хвилини пізніше і називаються уповільненими нейтронами. Викид нейтронів в процесі поділу має ряд наслідків:

- 1) це дає можливість ланцюгової реакції;
- 2) реакція захоплення нейтронів в урановому паливі призводить до отримання трансуранових елементів, у тому числі плутонію;
- 3) нейтрон потрапляє в структурні та інші матеріали ядерного реактора, і ці матеріали стають активованими або радіоактивними.

Найбільш вірогідний поділ важкого атома, такого як уран, на фрагменти масою близько 95 і 139. Наприклад:



або



На рисунку 1.6 приведено розподіл масової кількості продуктів поділу. Так, під час поділу утворюється близько 300 різних нуклідів, більшість з яких багаті на нейтрони і розпадаються серією бета-викидів через ланцюг радіонуклідів. Використання ядерного поділу для отримання енергії призводить до утворення в межах палива сотень різних видів радіоактивних продуктів поділу з періодом напіврозпаду від частки секунди до тисяч років. Сума всіх продуктів поділу, що утворюються в паливі в реакторі, називається інвентаризацією.

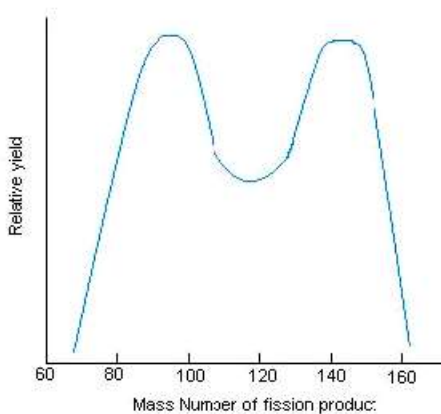


Рисунок 1.6 – Відносний вихід продукту поділу [5].

1.4. Вступ до ядерної фізики

1.4.1. Енергія зв'язку. Енергія ядерних реакцій

Якщо порівняти масу ядра з сумою мас усіх наявних протонів та нейтронів, то отримаємо проблему балансу мас. Дивно, але ми виявляємо, що окремі нуклони важчі за складене ядро. Сподіваємось, ми можемо інтерпретувати це експериментальне підтвердження завдяки знаменитій формулі еквівалентності енергія-маса та загальному енергетичному бала-

нсу. Насправді, починаючи зі складеного ядра, потрібна значна енергія, щоб розірвати всі зв'язки і отримати окремі нуклони. Ця енергія називається **енергією зв'язку**. Звичайно, чим важче ядро, тим більша ця енергія, і саме тому зазвичай використовують енергію зв'язку, поділену на кількість нуклонів, або так звану унітарну енергію зв'язку, яка дозволяє порівнювати стійкість різних ядер. Варіація унітарної енергії зв'язку з масою ядра A представлена на наступному графіку (рис. 1.7).

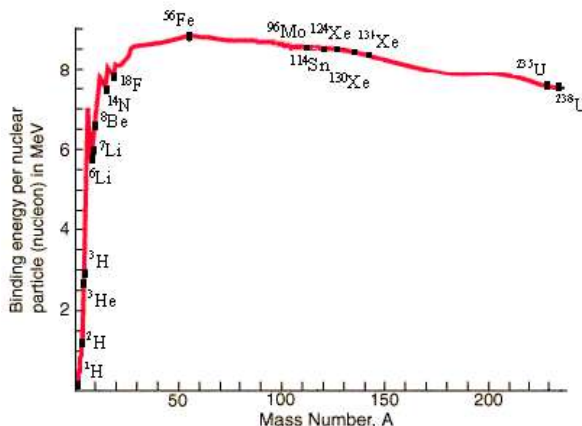


Рисунок 1.7 – Середня енергія зв'язку на нуклон [5]

Поєднання легких нуклідів (перша зона до максимуму $A \approx 50$) призводить до отримання проміжних ядер з більшою енергією зв'язку і, таким чином, з підвищеною стабільністю. З точки зору балансу енергії, ця зона характеризується тим, що сума легких мас ядер вища, ніж у складених ядер. Таким чином, поєднання двох легких ядер забезпечить надлишок енергії. Це зона екзоенергетичних реакцій **ядерного синтезу**. Прикладом є



Навпаки, якщо ми розділимо важке ядро надвоє, то отримані два ядра матимуть більшу унітарну енергію зв'язку. За енергетичним балансом маса важкого ядра більша за суму двох проміжних мас ядер. У цій масовій зоні ($A > 50$) можливі екзоенергетичні реакції **ядерного поділу**.

Хоча теоретично це можливо, виробництво енергії за допомогою реакцій синтезу стикається з технологічними труднощами. Фактично, потрібно підтримувати протягом певного періоду два легких ядра у досить близькому положенні, незважаючи на електростатичне відштовхування (спричинене тим, що всі ядра позитивно заряджені). Відтворити реакцію поділу виявилось простіше, а підтримувати стійку реакція поділу вдалось лише через кілька років після відкриття реакції поділу (Чиказька дровітня-1 (англ. Chicago Pile-1, CP-1) — перший у світі штучний ядерний реактор Фермі).

1.4.2. Ядерні реакцій, викликані нейтронами

Розглянемо промінь І частинок на см^2 , збиваючи дуже тонку мішень, що містить N ядер на см^3 (див. рис. 1.8). Кількість R ядерних реакцій у цілі на см^3 очевидно пропорційна I та N . Коефіцієнт пропорційності

$$\sigma_t = R/NI \quad (1.11)$$

називається мікроскопічний переріз. Згідно з визначенням, його розмірність σ_t , см^2 зазвичай виражається в барнах; $1 \text{ бн} = 10^{-24} \text{ см}^2$ і трактується як геометрична ймовірність взаємодії.

Оскільки нейтрони не є електрично зарядженими, вони є найбільш підходящими снарядами для взаємодії з ядрами навіть при нульовій кінетичній енергії (енергія для подолання електростатичного бар'єру не потрібна).

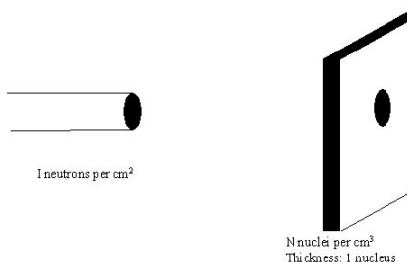


Рисунок 1.8 – Схема пучка нейтронів $I/\text{см}^2$ та мішені завтовшки ядро та кількістю N ядер у об'ємі один см^3 [6]

Існують різні типи нейтронно-ядерних взаємодій, серед яких найчастіше розглядають реакції розсіювання та поглинання. Так, підчас роз-

сіювання один нейтрон має бути в каналі виходу, тоді як в процесах поглинання зазвичай нейтронів не спостерігається.

Наведена нижче схема надає варіації можливих реакцій:

Розсіювання	Пружне (n, n)
	Непружне (n, n')
Поглинання	Поділ
	Захоплення (n, γ), (n, p), (n, α), L

Що ж стосується ймовірності взаємодії нейтронів з ядрами, можна визначити поперечний переріз кожної окремої реакції (переріз розсіювання, переріз поглинання і т.п.). Оскільки ці процеси не залежать один від одного, ймовірність повної взаємодії є лише сумою часткових перерізів [7]:

$$\begin{aligned}\sigma_t &= \sigma_s + \sigma_a = \\ &= \sigma_{elastic} + \sigma_{inelastic} + \sigma_{fission} + \sigma_{capture} + \dots\end{aligned}\quad (1.12)$$

Вищезгадана ймовірність взаємодії характеризує взаємодію нейтронів лише з одним видом ядер. Зазвичай його називають мікроскопічним перерізом (див. формулу 1.11). Якщо в матеріалі присутні різні ядра з різною концентрацією (n_i – кількість ядер у одиниці об'єму), ми визначаємо макроскопічний перетин як:

$$\Sigma_t = \Sigma n_i \sigma_{ti}, \quad \dots (1.13)$$

де сума враховує всі i ядра. У цьому випадку Σ_t вимірюватиметься у см^{-1} .

Середня відстань між двома послідовними зіткненнями λ (або середній вільний шлях) у матеріалі $\lambda = 1 / \Sigma_t$.

1.4.3. Процес поділу та ланцюгова реакція поділу

Процес поділу було відкрито у 1938 році Ганом і Страссманом для важких нуклідів. Це явище може бути спонтанним або наслідком ядерної реакції, викликаной нейтронами або важкими частинками. Звичайно, найважливішим для реакторних застосувань є, насамперед, реакції поділу, викликані нейтроном, а вже потім спонтанний поділ.

На рисунку 1.9 наведено спрощений опис нейтронного процесу поділу. Після поглинання нейтронів складене ядро, по-перше, зазнає деформацій, що призводять до розщеплення двох фрагментів, з викидом нейтронів (в середньому 2 або 4 для низько енергетичного нейтронного поділу з ^{235}U) та гамма-випромінюванням. Після викидання швидких нейтронів ядра проміжної маси, як правило, вище кривої стійкості (відношення нейтронів до протонів для цих ядер вище, ніж у стабільних ядер у цій області) і розпадаються шляхом випромінювання бета-променів (перетворення нейтрона в протон, електрон і антинейтрино). Незважаючи на цей розпад, залишкові ядра все ще занадто багаті нейтронами і втратили б деякі нейтрони (так звані затримані нейтрони). Важливо розрізняти ці два види нейтронів з точки зору шкали часу, оскільки це має важливий вплив на кінетичний аспект ланцюгової реакції поділу. Приблизно, швидкі нейтрони випромінюються в інтервалі часу між 10^{-21} та $4 \cdot 10^{-4}$ секундами після поділу, а затримані нейтрони випромінюються у часовому інтервалі між 0,08 с та 58,2 с після поділу.

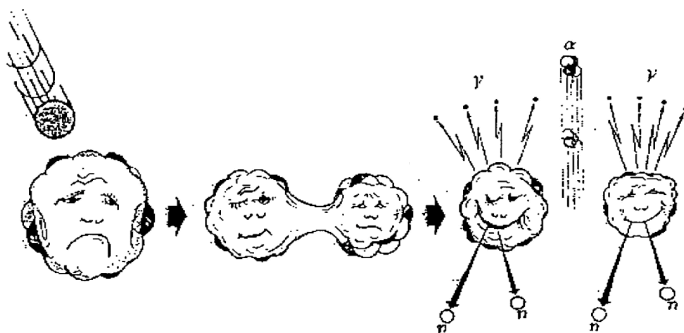


Рисунок 1.9 – Процес поділу, викликаний нейтронами [6]

З енергетичної точки зору, одразу після відкриття поділу було зрозуміло, що кількість енергії, що виділяється у такому процесі, є набагато важливішою, ніж у всіх інших класичних виробництвах енергії хімічними процесами (фактор становить близько 1 мільйона!). Дійсно, при кожній реакції поділу виділяється близько 200 MeV, і найважливіша частина полягає в кінетичній енергії фрагментів поділу (див.рис.1.5). Те, що нейтрони виділяються після поділу, також має сильний енергетичний

вплив, оскільки випромінені нейтрони можуть брати участь у інших реакціях поділу тощо. Це принцип ланцюгової реакції поділу, який може вивільнити значну кількість енергії.

1.5. Вступ до фізики реакторів

1.5.1. Коефіцієнт множення, оптимальність помірності.

Основні види реакторів поділу

Як було показано раніше, утворення нейтронів за допомогою реакцій поділу дає можливість повторно використовувати ці нейтрони для індукції нових поділів тощо. Ми розглянемо тут умови, за яких можлива стійка ланцюгова реакція поділу.

Нехай ν – середня кількість нейтронів, випромінюваних при поділі, і ω – ймовірність того, що нейтрон, викинутий при поділі, може викликати нове поділ. Тоді їх добуток дорівнюватиме середній кількості нових поділів після одного поділу:

$$k = \nu\omega \quad (1.14)$$

Інший фізичний зміст цього виразу це є кількість нейтронів, що утворюються при поділі на один нейтрон, що випромінюється при поділі. Це одна з основних фізичних величин у фізиці реактора, яку називають **ефективним коефіцієнтом розмноження нейтронів**.

При кожному поділі ядра утворюється певна кількість нейтронів, зазвичай 2-3, з енергіями в широкому діапазоні. Частина з цих нейтронів може поглинутися іншим ядром і викликати нову реакцію поділу. Інша частина втрачається для ланцюгової реакції — поглинається ядрами, неспроможними до поділу, вилітає за межі реактора, розпадається.

Наприклад, для реактора на природному урані з графітовим сповільнювачем ці фактори можна оцінити, як: $\nu = 2,47$ та $\omega = 0,433$, що приводить до величини $k = 1,07$ для реактора необмежених розмірів. Обмежені розміри реактора зменшують значення k . Додатково k можна зменшити до 1, вводячи в реактор стержні з поглиначом.

Зручно розпізнавати різні утворені нейтрони та групувати їх у покоління. Починаючи з N нейтронів поділу в поколінні g, поширення популяції нейтронів відбувається згідно з визначенням k :

Покоління:**Середня кількість нейтронів**

g	$k N$
g+1	$k N$
g+2	$k^2 N$
g+3	$k^3 N$
g+4	$k^4 N$

Тоді можна отримати три можливі стани залежно від значення k :

- $k < 1$ підкритична система з експоненціальним зниженням популяції нейтронів.
- $k = 1$ критична система зі стійкою ланцюговою реакцією.
- $k > 1$ надкритична система з експоненціальним збільшенням популяції нейтронів.

Критичний стан є єдиною можливими робочими умовами, коли мета полягає в тому, щоб виробляти енергію в придатному для використання способу. Надкритичний стан, очевидно, небезпечний (через значну кількість енергії та випромінювання, що виділяється), і існує лише у виняткових ситуаціях (зброя, аварії...).

Реактивність ρ , характеризує стан ядерної ланцюгової реакції шляхом вимірювання відносної відстані системи від критичного стану:

$$\rho = (k - 1) / k \quad (1.15)$$

Для стабільної роботи ядерного реактора необхідно, щоб його реактивність дорівнювала нулю, тобто, щоб коефіцієнт розмноження нейтронів дорівнював одиниці. При додатній реактивності реактор розганяється, виділення енергії в ньому збільшується. При від'ємній реактивності реакція поділу згасає.

Реактивність конкретного реактора в конкретному стані залежить від багатьох факторів: рівня збагачення (та відповідно, вигорання палива), розмірів та конструкції реактора, наявності сповільнювача і поглиначів нейтронів, температури реактора, тиску тощо.

Для контролю реактивності у реакторах використовують стержні з високим вмістом речовини, атоми якої ефективно захоплюють нейтрони. Ці стержні можна опускати в реактор і витягати з нього, контролюючи перебіг реакції. При завантаженні реактора палива, чи при заміні вигорі-

лих тепловиділяючих елементів (ТВЕЛів) реактивність і поля розподілу нейтронів в реакторах розраховуються з використанням спеціальних комп'ютерних програм.

Можна було б уявити різні можливості для отримання стійкого поділу. Як було вказано у вступному курсі з ядерної фізики, нейтронні перерізи змінюються в залежності від падаючої енергії.

Можна виділити три енергетичні домени:

1) енергія порядку МеВ: саме тут утворюються нейтрони поділу; нейтрони з кінетичною енергією в цій області будуть називатися швидкими нейтронами;

2) енергія порядку кеВ: цей домен характеризується резонансними перерізами важких ядер; нейтрони з кінетичною енергією в цій області будуть називатися нейтронами з проміжною енергією;

3) енергія декілька еВ: ця енергія близька до руху атомів у матерії через тепловий рух; нейтрони з кінетичною енергією в цій області будуть називатися тепловими нейтронами.

Через величезний резонанс захоплення в області проміжних енергій, підтримувати ланцюгову реакцію поділу нейтронів в цій області, вочевидь, є складним завданням. Найсприятливішими з цих варіантів є швидкі (максвеллівський спектр з температурою 1,35 МеВ) або теплові (максвеллівський спектр з температурою 0,0253 еВ) нейтрони (табл. 1.2).

Як показано у таблиці, для теплових нейтронів характерні великі перерізи поділу і порівняно досить малі перерізи захоплення нерозщеплених нуклідів. Але оскільки нейтрони поділу випромінюються при енергіях декілька МеВ, ми повинні знайти засоби для зменшення їх енергії, щоб вони могли здійснити ділення в тепловому діапазоні. Процес уповільнення нейтронів досягається за рахунок «уповільнювачів» (табл. 1.2).

У таблиці 1.3 показано, що чим легше нуклід, тим ефективніше уповільнення. Тоді водень, враховуючи тільки фактор зіткнень, є найкращим «уповільнювачем». Але як тільки нейтрони знаходяться в тепловому діапазоні, «уповільнювач» не повинен сприяти захопленню нейтронів.

Відповідно до таблиці 1.2, щодо вище середнього перерізу, серед зареєстрованих легких нуклідів водень є тим, хто має найбільший переріз захоплення. Ланцюгова реакція ділення з природним ураном неможлива

Таблиця 1.2 – Середні перерізи для теплових і швидких нейтронів

Нуклід	Перерізи теплових нейтронів		Перерізи швидких нейтронів	
	Ділення, бн	Захоплення, бн	Ділення, бн	Захоплення, бн
^{235}U	504,4	86,32	1,22	0,09
^{238}U	2,41	-	0,30	0,07
^{239}Pu	698,00	274,50	1,80	1,65
^1H	-	0,29	-	-
^2H	-	0,0004	-	-
^{12}C	-	0,003	-	-

* 1 бн = 10^{-24} см²

Таблиця 1.3 – Ефективність уповільнення деяких нуклідів

Нуклід	Середня кількість зіткнень, необхідних для уповільнення нейтрона
^1H	14,5
^2H	20,0
^{12}C	92,0
^{238}U	1716,9

для систем з «уповільненою» водою (^1H), але можлива при «уповільнювачах» на основі важкої води (^2H) або на вуглеці (^{12}C).

Для систем з «уповільненою» водою необхідно збільшити пропорцію ^{235}U в паливі. У низькозбагаченому паливі урану (природному або слабо збагаченому) також важливо фізично розділити паливо та «уповільнювач». Нейтрони, народжені при високій енергії (близько 2 MeV) залишають паливо досить швидко і пройдуть кілька реакцій розсіювання в сповільнювачі, перш ніж їх енергія стає досить низькою. Оскільки перерізи в низькому енергетичному діапазоні дуже великі, нейтрони легко поглинаються, коли вони повертаються назад в паливний стрижень.

У всіх теплових системах «уповільнювач» сприяє двом конкуруючим явищам: уповільнення ефективності (або відсутність поглинання в проміжному енергетичному резонансі) з одного боку, і низькоенергетичне захоплення «уповільнювача» з іншого. На рисунку 1.10 показано залежність коефіцієнту множення від співвідношення кількості ядер водню до урану.

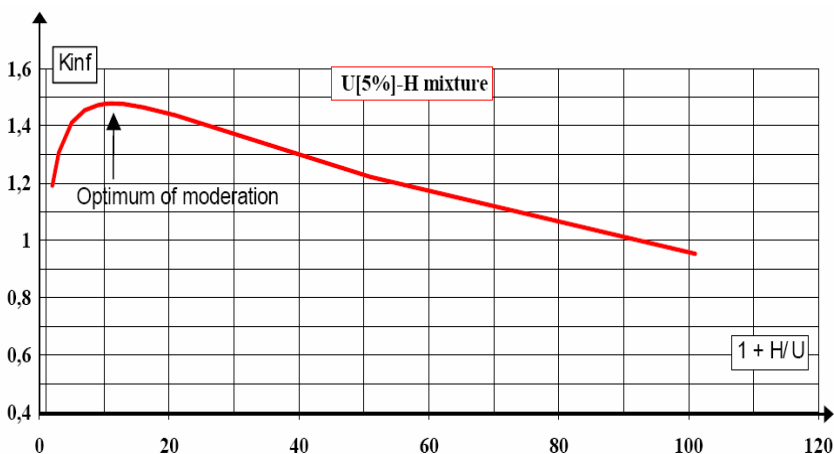


Рисунок 1.10 – Коефіцієнт множення як функція відношення «водень/уран»[6]

Для прикладу використано однорідну суміш урану та води із 5%-м збагаченням ^{235}U . Оптимальний параметр «уповільнення» показано стрілкою.

Ланцюгова реакція ділення зі швидкими нейтронами можлива, і є більш вигідною з точки зору використання палива. Але в цьому випадку слід уникати легких елементів, щоб зберегти спектр нейтронів максимально наближений до спектру поділу. Враховуючи вищесказане, для промислового застосування використовують такі реактори (табл.1.4).

Таблиця 1.4 – Типи реакторів ділення в країнах ЄС

Тип реактора	Ядерне паливо	Уповільнювач	Охолоджуюча рідина
UNGG/AGR	Природний або низькозбагачений уран	Графіт	CO_2
CANDU	Природний або низькозбагачений уран	Важка вода	Важка чи звичайна вода
PWR/BWR	Низькозбагачений уран/ МОКС-паливо ¹	Звичайна вода	Звичайна вода
FBR	МОКС-паливо	-	Металевий натрій

¹ МОКС-паливо: змішаний оксид урану та плутонію.

1.5.2. Спалювання – використання ядерного палива

Завдяки взаємодії ядер-нейтронів склад палива змінюється під час роботи реактора. Розглянемо два основні явища, а саме: виснаження та накопичення важких нуклідів та утворення продуктів поділу (ці дві трансформації відбуваються одночасно під час роботи реактора).

Еволюція важких ядер. На діаграмі (рис. 1.11) показано спрощений ланцюг еволюції палив на основі урану. На початку життя реактора свіже паливо містить два ізотопи, а саме ^{238}U та ^{235}U . Склад палива змінюється внаслідок перетворення нуклідів (трансмутації) після ядерних взаємодій, при цьому основним снарядом є нейтрони. Утворюються нові нестабільні ядра та інші елементи після радіоактивного розпаду (α і β).

Найважливіші нейтронно-ядерними взаємодії в еволюції палива – це поділ, радіоактивне захоплення (n, γ), (стрілка \downarrow) та β -розпад (стрілка \rightarrow). Представлені лише перетворення важких нуклідів. Процес поділу з утворенням ядра проміжних мас не приведено. Всі важкі ядра є також випромінювачами α , проте цей режим радіоактивності часто характеризується довгим періодом напіврозпаду, і ним можна нехтувати в діаграмах.

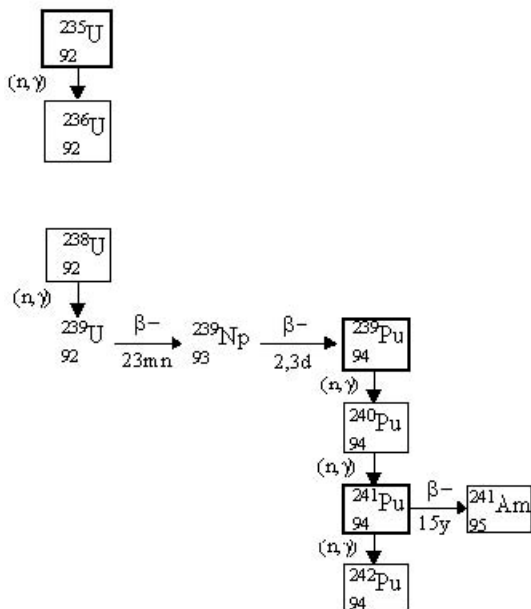


Рисунок 1.11 – Діаграма ядерного поділу

Взаємодія нейтрона з ^{235}U може призвести до поділу або до захоплення, утворюючи нероздільне ядро ^{236}U , яке дає ^{237}U після іншого захоплення нейтронів тощо. Це, звичайно, зменшує кількість ядер ділення в реакторі. Часткова компенсація відбувається перетворенням ^{238}U у ^{239}Pu після захоплення нейтронів та двох коротких бета-розпадів (період напіввиведення 23,5 хв і 2,35 діб). ^{239}Pu бере участь у виробництві енергії шляхом поділу, але він також захоплює нейтрон і виробляє ^{240}Pu , який продовжує захоплення нейтронів з утворенням ізотопу ділення ^{241}Pu .

Концентрація різних нуклідів пов'язана за допомогою наступної системи рівнянь.

$$\left\{ \begin{array}{ll} \frac{dN_5}{dt} = -N_5\sigma_{a,5}\phi & \rightarrow ^{235}\text{U} \\ \frac{dN_8}{dt} = -N_8\sigma_{a,8}\phi & \rightarrow ^{238}\text{U} \\ \frac{dN_9}{dt} = N_8\sigma_{c,8}\phi - N_9\sigma_{a,9}\phi & \rightarrow ^{239}\text{Pu} \\ \frac{dN_0}{dt} = N_9\sigma_{c,9}\phi - N_0\sigma_{a,0}\phi & \rightarrow ^{240}\text{Pu} \\ \frac{dN_1}{dt} = N_0\sigma_{c,0}\phi - N_1\sigma_{a,1}\phi - \lambda_1 N_1 & \rightarrow ^{241}\text{Pu} \end{array} \right. , \quad (1.16)$$

де N_i – популяція нейтронів; σ – переріз поглинання (a – *absorption*, c – *capture*); λ_1 – константа розпаду нукліда [7].

Коефіцієнт перетворення визначається як відношення кількості вироблених ядер, що розділяються, до кількості розділених ядер, зруйнованих при поглинанні нейтронів. Цей фактор, як правило, менше 1 (наприклад, PWR реактори характеризуються коефіцієнтом перетворення 0,6). У реакторі на швидких нейтронах можна виробляти більше нейтронів, ніж простим діленням нуклідів. Це досягається шляхом розміщення низькозбагаченого урану навколо ядра реактора, використовуючи таким чином рухливі нейтрони для отримання ізотопів Pu.

Спалювання зазвичай характеризує виділення палива в реакторі. Ця кількість визначається як відношення енергії, виробленої в реакторі, до початкової маси важких нуклідів у паливі. У ядерній енергетичній галузі

спалювання (також відоме як використання палива) - це міра того, скільки енергії видобувається з первинного джерела ядерного палива. Вона вимірюється як частка атомів палива, що піддалась поділу, у % FIMA (ділення на початкових атомах), так і як фактична енергія, що виділяється на масу вихідного палива в мегаватт-дні на метричну тону важкого атому (MWd/MTU) або подібні одиниці.

В таблиці 1.5 показано, що плутоній є основним фактором активності в спалюваному паливі. Але, як обговорювалося раніше, Pu має також два подільних ізотопи і тому може використовуватися як паливо. Найкращим способом для використання Pu, з точки зору нейтронів, був би швидкий реактор, оскільки кількість нейтронів, випромінюваних поглинанням, становить приблизно 2,25, що дозволяє розмножуватися.

Таблиця 1.5 – Маса та активність трансуранових ядер, присутніх у паливі PWR (початкова маса - 1 т, спалювання 33000 *MWd/MTU)

Вид ядра	Маса, г	Активність, Бк	
		Відключення реактора	Через 3 роки
Уран	$9,56 \cdot 10^5$	$7,25 \cdot 10^{17}$	$1,33 \cdot 10^{11}$
Нептуній	553	$7,07 \cdot 10^{17}$	$7,03 \cdot 10^{11}$
Плутоній	$8,94 \cdot 10^3$	$1,78 \cdot 10^{16}$	$3,54 \cdot 10^{15}$
Америцій	124	$7,14 \cdot 10^{15}$	$2,21 \cdot 10^{13}$
Кюрій	44	$1,35 \cdot 10^{15}$	$9,66 \cdot 10^{13}$
Беркелій	$2,30 \cdot 10^{-6}$	$4,07 \cdot 10^8$	$1,11 \cdot 10^7$
Каліфорній	$0,97 \cdot 10^{-3}$	$3,85 \cdot 10^6$	$2,63 \cdot 10^6$
Разом	$9,56 \cdot 10^5$	$1,46 \cdot 10^{18}$	$3,66 \cdot 10^{15}$

MWd/MTU - Мегаватт-день на метричну тону ($1 \text{ MWd} = 8,64 \cdot 10^{10} \text{ Дж}$)

Однак виробництво Pu в теплових реакторах вище, ніж його споживання у швидких реакторах (розробка цих реакторів мала певні технологічні та методичні проблеми). Тоді було запропоновано використовувати паливо на основі плутонію в стандартних легких водних реакторах (звичай відомих для переробки плутонію). Ця операція передбачає розділення різних компонентів опроміненого палива (продукти поділу, урану та плутонію), що називається переробкою палива.

Формування продуктів поділу і наслідки отруйних ефектів.

Після виходу з процесу ділення фрагменти випромінюють швидкі нейтрони, розпадаються в бета-режимі і, оскільки вони знаходяться в реакторі, поглинають нейтрони і продовжують свої перетворення. Існують різні шляхи виробництва чи знищення певного нукліду: розпад нукліда, трансмутація поглинанням нейтронів, виробництво при поділі, виробництво розпадом попередників, виробництво нейтронними реакціями на інш.

Існує величезна кількість продуктів поділу. Найвідоміші серед них ^{135}Xe і ^{149}Sm , оскільки вони мають дуже великі поперечні перерізи поглинання в тепловому діапазоні ($3 \cdot 10^6$ бн для ^{135}Xe і $4 \cdot 10^4$ бн для ^{149}Sm). Після створення ці продукти поділу сприяють поглинанню нейтронів у паливі і, таким чином, мають прямий вплив на роботу реактора та характеризуються як отруєння нуклідами.

На рис. 1.12 показано схему утворення та руйнування ^{135}Xe . Так, горизонтальні стрілки демонструють бета-розпад із відповідним періодом напіврозпаду (ms – мілісекунда, s – секунда, h – година, y – рік), а вертикальні стрілки показують пряме виробництво шляхом поділу з відповідним виходом ділення для термічного нейтронного поділу ^{235}U . Хоча це не представлено, кожен з цих нуклідів може бути знищений захопленням. Проте, за винятком ^{135}Xe , решта швидкостей реакції захоплення (перетин захоплення більший за концентрацію нукліда в рази від потоку нейтронів) для всіх інших нуклідів є досить незначними.

Період напіввиведення бета-розпаду нуклідів до ^{135}I дуже короткий і фіксує перерізи. Таким чином, можна спростити цю схему:

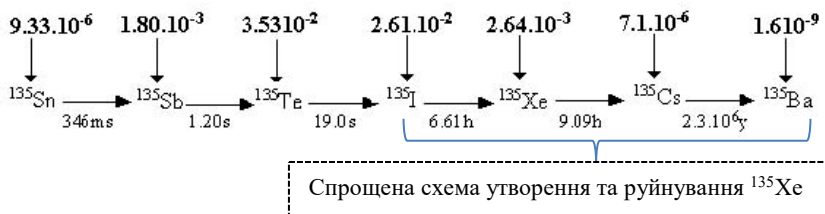


Рисунок 1.12 – Схема утворення та руйнування ^{135}Xe

Чим більше потік в реакторі, тим вище ефект отруєння. Так, у стандартному PWR ефект реактивності становить близько 2000 рсм. Най-

більш ефектне явище буває, коли реактор вимикається. Із закінченням потоку всі реакції затухають, концентрація йоду, наприклад, знижується експоненціально (простий розпад). Період напіввиведення ксенону Хе довший, ніж у йоду, тому концентрація Хе спочатку збільшується, досягає максимуму (пік отруєння), а потім починає знижуватися, оскільки йод не поновлюється. Цей пік отруєння зростає з рівнем потоку, а в деяких випадках; ефект реактивності може бути таким, що неможливо перезапустити реактор у той момент, коли настає пік. У такому випадку оператор реактору повинен або перезапуститись до піку, або чекати розпаду Хе.

Розглянемо тепер процеси, що відбуваються з ^{149}Sm . На рис.1.13 наведені схеми виробництва та знищення з виходом поділу або термічного поділу на ^{235}U .



Рисунок 1.13 – Схема утворення та руйнування ^{149}Sm

Перші п'ять бета-розпадів мають відносно короткі періоди, тому за спрощеною вищевказаною схемою вихід розщеплення буде підсумовувати всі попередні врожаї та нехтувати виходами поділу ^{149}Sm .

Потім відповідні рівняння спрощуються до [7]:

$$\begin{cases} \frac{dP}{dt} = -\lambda P + Y \Sigma_f \phi \\ \frac{dS}{dt} = \lambda P - \sigma S \phi \end{cases} \quad (1.17)$$

При рівновазі концентрація Sm не залежить від рівня потоку. У реакторі PWR це отруєння становить близько 700 рсм. Тепер, після відключення реактора, це отруєння збільшується, оскільки Sm є стабільним нуклідом, єдиним процесом залишається його накопичення від розпаду прометію Pm. Асимптотичне отруєння залежить від потоку реактора пе-

ред відключенням. У реакторі PWR збільшення не важливе (приблизно 300 pcm), але в реакторах з високим потоком воно може бути величезним. У такому випадку дуже важливо працювати із значно нижчим рівнем потоку перед вимкненням, щоб уникнути надмірного отруєння, яке впливає на перезапуск реактора після відключення.

Ефект отруєння, що обговорювався дотепер, передбачає, що потік в реакторі скрізь однаковий, що насправді є наближенням. Якщо припустити різні зміни потоку, наприклад, в двох областях реактора, отруєння матиме просторовий ефект. Наприклад, якщо потік трохи збільшиться в одній області і трохи зменшиться в іншому регіоні, отруєння в цих двох регіонах буде різним. Насправді отруєння посиляться в регіоні, де зменшується потік, що призведе до подальшого зниження реактивності, а в іншій частині відбудеться протилежне. Таким чином, нерівновага між двома ділянками буде значно виразніша. Постає питання моніторингу не лише глобальної потужності в реакторі, але й локального контролю відносної потужності. Щоб відстежувати нестабільності потоку використовуються, наприклад, осьове зміщення, яке вимірює нерівновагу між верхньою і нижньою частинами реактора за допомогою спеціальних детекторів.

Як підсумок огляду про спалювання палива, треба відзначити зменшення коефіцієнта множення при згорянні. Насправді, зі зменшенням кількості ядер ділення, а також при появі недіючих актинідів та продуктів поділу, ефективний коефіцієнт множення досить швидко спадає. Наприкінці терміну дії ядра він дорівнює 1, на відміну від початку життя ($\approx 1,2-1,3$). Зовнішні нукліди отруєння використовуються потім для роботи на критичному рівні. За своїм фізичним станом отрути можуть бути гомогенними (наприклад, бор, розведений в «уповільнювачі» / теплоносії) або твердими (контрольні бруски), вставлені в серцевину. Ці отрути видаляються в процесі опромінення.

1.5.3. Кінетичні аспекти.

Спершу припустимо, що всі нейтрони, що утворюються при поділі, викидаються відразу після поглинання. Тоді якщо l – середній час життя нейтронів в реакторі (тобто середній час між їх викидом шляхом поділу та їх зникненням), то протягом одиничного інтервалу часу dt ймовірність зникнення становить просто dt/l . Після визначення ефективного

коефіцієнта множення один нейтрон виробляє після зникнення k нейтрона в середніх значеннях $(k - 1)$ нейтронів – це баланс між створенням і зникненням. Коливання популяції нейтронів протягом цього одиничного інтервалу часу тоді:

$$dN(t) = (k - 1)N dt/l, \quad (1.18)$$

а потенційна варіацію популяції нейтронів:

$$N(t) = N(0)\exp\{(k - 1)t/l\}. \quad (1.19)$$

Середній час життя нейтронів, як правило, дуже короткий (близько 25 мкс в тепловому реакторі). Якщо розглядати трохи надкритичний носій (наприклад, $k = 1,0001$), то, застосовуючи наведене рівняння, ми знаходимо множення кількості нейтронів на коефіцієнт 55 щосекунди!

Це означає також, що потужність реактора змінюється одним і тим же фактором щосекунди. Але розглянутий k -фактор - це досить крихітна надкритичність, що може статися дуже легко. У таких умовах умови роботи реактора були б надзвичайно важкими.

Всі нейтрони не виділяються відразу після поділу. Насправді невелика частка затриманих нейтронів виділяється після бета-розпаду продуктів поділу (приблизно від 0,08 секунди до 58,2 секунди після поділу). Зазвичай затримані нейтрони групуються по 6 сімействам за періодом напіврозпаду попередників продуктів поділу.

Наприклад, щодо термічного нейтронного поділу на ^{235}U , у таблиці 1.6 наведено дані про частку випромінюваних нейтронів (нормалізованих на один нейтрон, випромінюваний поділом) для кожного сімейства (β_i) та пов'язані з ними періоди напіввиведення.

Таблиця 1.6 – Частка затриманих нейтронів у кожному сімействі (у відношенні на один нейтрон, викинутий при поділі) та період напіввиведення в термічному нейтронному поділі ^{235}U

Сімейство	1	2	3	4	5	6
$T_{1/2}, \text{с}$	0,18	0,49	2,23	5,97	21,84	54,50
$\beta_i \cdot 10^{-5}$	24	123	117	263	108	45

Таблиця 1.7 – Частка затриманих нейтронів для різних нуклідів поділу, індукованих тепловими нейтронами

Нукліди	^{235}U	^{239}Pu	^{241}Pu	^{238}U	^{240}Pu	^{232}Th
$\beta_i \cdot 10^{-5}$	680	210	490	1470	270	490

Для того, щоб описати затримані нейтрони в кінетичних рівняннях, ми повинні описати процес розпаду різних сімейств-попередників. Нехай C_i - концентрація попередника i та λ_i – відповідна константа розпаду. Кількість випромінюваних нейтронів така ж, як і загальна активність бета-розпаду, а частка швидких нейтронів становить $(1-\beta)$:

$$\begin{cases} \frac{dN}{dt} = \frac{(k(1-\beta)-1)}{l} + \lambda_i C_i \\ \frac{dC_i}{dt} = \frac{k\beta_i N}{l} - \lambda_i C_i \end{cases} \quad (1.20)$$

Усі коефіцієнти цієї системи рівняння є сталими величинами. Загальні рівняння мають вигляд:

$$\begin{aligned} N(t) &= N(0) \exp\{\omega t\}, \\ C_i(t) &= C_i(0) \exp\{\omega t\}, \end{aligned} \quad (1.21)$$

де ω задається наступним виразом (рівняння Нордхейма):

$$\rho = \omega \left(\frac{l}{k} + \sum_i \frac{\beta_i}{\lambda_i + \omega} \right), \quad (1.22)$$

де ρ - реактивність, визначена раніше (див. формулу 1.15).

Графічне рішення цього рівняння представлено на рисунку 1.14. Для заданої реактивності ρ отримуємо 7 можливих значень ω , шість із них мають від'ємні значення та описують перехідні терміни, а останній має такий самий знак, як ρ . Якщо ρ додатний, відбувається експоненціальне збільшення популяції нейтронів, а якщо ρ від'ємний, то зменшення.

Це рішення схоже на те, що було знайдено без затримок нейтронів. Для ілюстрації впливу цих уповільнених нейтронів візьмемо числові

значення. Наприклад, якщо значення ρ зовсім невелике, загальним рішенням є:

$$\omega = -\frac{\rho}{l + \sum_i \frac{\beta_i}{\lambda_i}}, \quad (1.23)$$

а у випадку кінетичного рівняння без затримок нейтронів

$$\omega = \frac{\rho}{l} \quad (1.24)$$

$\sum_i \frac{\beta_i}{\lambda_i}$ у знаменнику відповідає середньому часу затримки викиду нейтронів і додається до середнього часу нейтрона в реакторі, який дуже короткий. Отже, затримані нейтрони сповільнюють множення нейтронів.

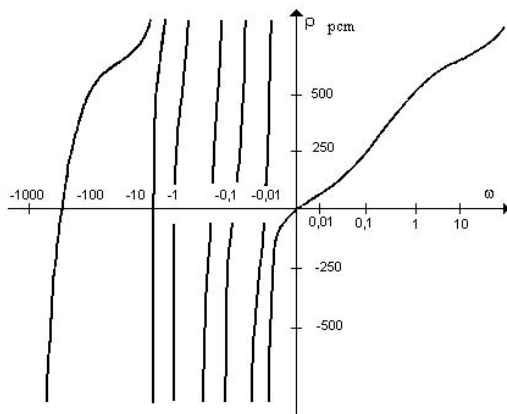


Рисунок 1.14 – Графічне рішення рівняння Нордхейма [6].

Розглянемо той самий числовий приклад, що і раніше, при $\rho = 10$ рсм. Знаходимо, що коефіцієнт множення на кожен секунду становить 1,0020 порівняно з 55 у випадку без затримок нейтронів.

Коли надлишок реактивності близький до β , кінетична поведінка різко змінюється. Вочевидь, реактор стає критичним лише у швидких нейтронах, і процес відбувається наче без затримок нейтронів. Реактивність іноді виражається через β , і одиниця, що використовується тоді, становить β ; а 1 β реактивності відповідає $\rho = \beta$.

Контрольні питання:

1. Чому дорівнює масове число A ?
2. Назвіть основні види радіоактивного розпаду.
3. Які одиниці вимірювання радіоактивності в СІ?
4. Які наслідки має викид нейтронів в процесі поділу?
5. Запишіть рівняння α -розпаду $^{235}_{92}\text{U}$
6. Як змінюється з часом потужність реактора, якщо: а) $k > 1$; б) $k = 1$; в) $k < 1$?
7. Які особливості має реактор на швидких нейтронах та які процеси використовуються для його роботи?
8. Поясніть, чому в реакторах на теплових нейтронах необхідно використовувати сповільнювач нейтронів.

2. Енергетика

2.1 Тема, мета та завдання уроку

Тема уроку: Енергетика та основи енергетичної безпеки.

Мета уроку: Визначити необхідність енергетики та основи енергетичної безпеки.

Завдання уроку:

- визначити основні види енергетичних ресурсів та їх світові запаси;
- назвати типи електричних станцій;
- обґрунтувати переваги і недоліки атомних електричних станцій (АЕС);
- визначити причини Чорнобильської катастрофи.

2.2 Вступ

Енергетика – одна з головних життєзабезпечуючих галузей будь-якої країни та являє собою найбільшу технічну систему, яку створило людство за час розвитку цивілізації. Вона складається з дуже великої кількості елементів, які пов'язані спільними процесами виробництва, передачі, розподілу та споживання електричної та теплової енергії. Існує сотні тисяч й мільйони енергетичних блоків електростанцій різного типу, лінії електропередач різного класу напруг та електричні підстанції, але вже давно неможливо підрахувати кількість споживачів енергії – це вже трильйони одиниць!

В більш широкому значенні, та з точки зору сучасного системного підходу під енергетикою слід розуміти сукупність природних та штучних (створених людиною) систем, призначених для виробництва, перетворення, розподілу та використанню у народному господарстві та житті енергії усіх видів. Головним джерелом енергії є сонце, яке посилає випромінювання на землю. Сонце, крім того, грає основну роль у тепловому балансі Землі.

Якщо мова йде про електроенергію, то вся ця сукупність таких же підсистем відтворює ту галузь енергетики, яка називається **електроенергетикою** (рис. 2.1). Електричну енергію по праву можна назвати основою сучасної цивілізації.

Серед основних споживачів електроенергії розрізняють такі чотири групи: промисловість, сільське господарство, електрифікований транс-

порт, побутові та офісні прилади й пристрої. Споживання електроенергії у промисловості суттєво впливає на розвиток країни та її демографічний фактор, а споживання електроенергії у побуті звільняє людину від рутинної роботи вдома та надає їй можливість розвивати культуру, займатись мистецтвом, наукою.

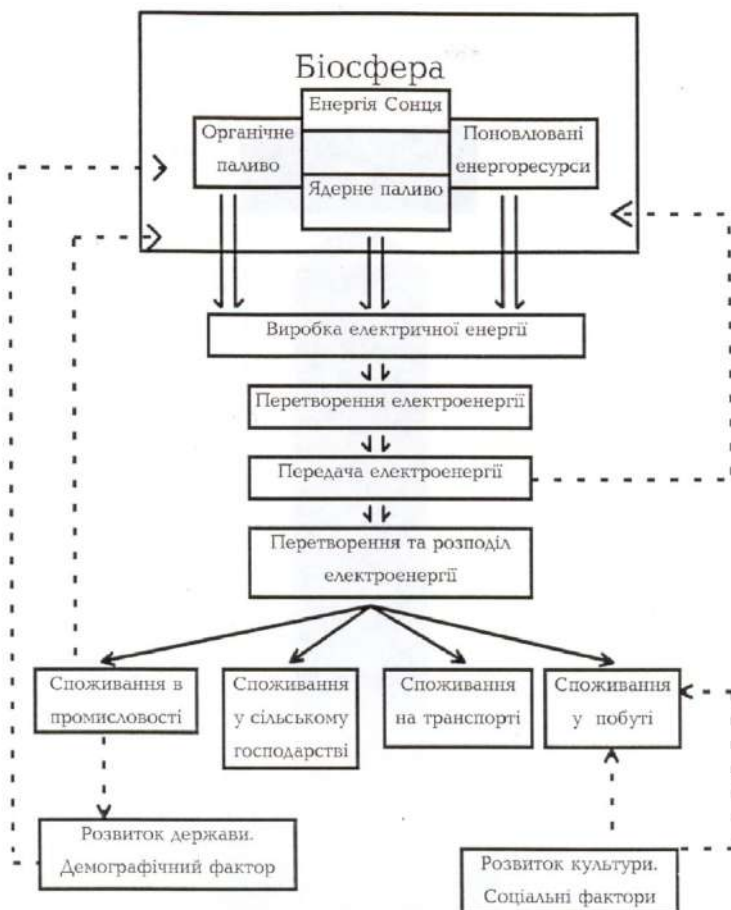


Рисунок 2.1 – Структура електроенергетики

Розвиток країни та зростання її населення вимагає подальшого збільшення виробки електроенергії, а це, в свою чергу, впливає на споживання енергоресурсів, збільшуючи його. Одночасне зростання виробництва та передачі електроенергії суттєво впливає на стан біосфери, погіршуючи екологію.

Розвиток суспільства тісно пов'язаний з підвищенням продуктивності праці та покращенням матеріальних умов життя людей. Необхідною умовою науково-технічного та соціального прогресу є збільшення кількості енергії, яка використовується, та освоєння нових, більш ефективних її видів.

Але енергія – це і проблема нашого часу. Із числа фундаментальних проблем, без рішення яких людство не зможе в майбутньому продовжувати удосконалювати техніку, створювати більш потрібну промисловість, а разом з ними, і вищий життєвий рівень, є проблема забезпечення достатньої кількості енергії.

Ця проблема тим складніша, що вона не носить чисто технічний характер, а глибоко впливає на ситуацію в окремих країнах, суттєво впливаючи на життєвий рівень і культуру населення цих країн, створює основу їхньої внутрішньої та зовнішньої політики. Країни з недостатніми енергетичними ресурсами прикладають всіх зусиль, щоб забезпечити себе хоч би самими необхідними джерелами енергії.

Крім того, безпека середовища життєдіяльності населення та можливість антропогенного впливу на зміну клімату на сьогодні є однією із найбільш важливих проблем людства, в тому числі і України. Виробництво палива та енергії вносить найбільший внесок у забруднення довкілля, тому зменшення цього внеску повинно стати повсякденною турботою влади і важливим елементом політики забезпечення енергетичної безпеки країни.

Серед головних завдань на цьому шляху є: підвищення безпеки, стійкості і живучості енергетичних об'єктів, запобігання екологічним катастрофам, зменшення шкідливих викидів теплових електричних станцій, реабілітація навколишнього середовища у регіонах вугледобутку, підвищення рівня безпеки ядерної енергетики, зменшення кількості і шкідливості викидів автомобільного транспорту, поступова заміна традиційних енергетичних виробництв відновлюваними джерелами енергії та ін.

2.3. Енергетичні ресурси та їх світові запаси

Виробка електроенергії тісно пов'язана з переробкою та використанням природних джерел енергії, або інакше, енергетичних ресурсів.

До непоновлюваних енергоресурсів відносяться такі, для яких тепер нема джерел поповнення. Вони створювались під впливом змінних умов розвитку землі на протязі багатьох мільйонів років. Ці ресурси суттєво зменшуються в зв'язку з їх інтенсивним використанням. Це вугілля, нафта, природний газ, торф (сланці), ядерне паливо (уран). У таблиці 2.1 наведені світові запаси непоновлюваних енергоресурсів.

Таблиця 2.1 – Світові запаси непоновлюваних енергоресурсів

Вид енергоносія	Енергоносії	Запаси
Органічне паливо	Вугілля кам'яне	15 трлн.т.
	Вугілля буре	2,5 трлн.т.
	Нафта	110 млрд.т.
	Газ	900 трлн.т.
	Горючі сланці	450 млрд.т.
	Бітумінозні піски та сланці	800 млрд.т.
Ядерне паливо	Уран	70 млн.т.
	Торій	450 тис.т.
	Дейтерій	10 ¹¹ кВт.год.

Поновлювані енергоресурси постійно відтворюються. До них відносять енергію повітря, енергію потоків води, які рухаються, променисту енергію сонця та енергію теплих джерел, які виходять із під землі або знаходяться під її поверхнею.

На сьогоднішній день існує ряд способів перетворення первинних джерел енергії в теплову і електричну. Вони, в свою чергу, діляться на традиційні способи (є традиція використання даного способу перетворення), а також нетрадиційні (використовуються не так давно).

Перетворення первинної енергії у вторинну (електричну і/або теплову) традиційно здійснюється на електричних станціях, які в своїй назві містять вказівку на те, який вид первинної енергії в який вигляд вторинної перетвориться на них:

- ТЕС – теплова електрична станція перетворює теплову енергію в електричну;
- ГЕС – гідроелектростанція перетворює механічну енергію руху води в електричну;
- ГАЕС – гідроакumuлююча станція перетворює механічну енергію руху заздалегідь накопичену в штучному водоймищі води в електричну;
- АЕС – атомна електростанція перетворює атомну енергію ядерного палива в електричну.

В Україні діють електростанції всіх перелічених вище видів. Більше 40% енергії виробляється на АЕС, 50% на ТЕС, 10% на ГЕС і ГАЕС.

Для кожного типу електричної станції існує своя технологічна схема перетворення первинної енергії в електричну, а в окремих випадках і для отримання теплової енергії. Ця схема визначає послідовність процесів перетворення енергії, основне та допоміжне обладнання, яке приймає в цьому участь. Кожний вид обладнання має свої номінальні показники, які визначають можливість його довгочасної, безпечної та надійної роботи.

2.4 Атомні електричні станції (АЕС)

На АЕС енергія, отримана в результаті ділення ядра урану на частинки, перетворюється у теплову енергію пара або газу, а вже потім у електричну енергію.

Джерелом ядерної енергії виступають, як правило, важкі ядра, для яких можливі ядерні перетворення. Так при поділі ядра урану-235 (^{235}U) звільняється біля 200 МеВ енергії (див. підрозділ 1.3). Нагадаймо, що 1еВ (електрон-вольт) це основна одиниця у ядерній фізиці і дорівнює енергії, яку набуває частинка із зарядом, який дорівнює заряду електрона, котрий проходить у вакуумі різницю потенціалів в 1 В, тобто

$$1\text{еВ} = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{Дж} = 1,6 \cdot 10^{-12} \text{ерг} = 4,45 \cdot 10^{-26} \text{кВт.г.}$$

Пристрій, у якому проходить поділ важких ядер називається реактором.

Із фізики відомо, що атом складається із електронів, протонів та нейтронів. Нейтрон заряду не має. Що ж відбувається у реакторі АЕС і звідки виникає теплота? Теплова енергія на АЕС виникає в результаті ді-

лення ядер урану при бомбардуванні їх нейтронами. Нейтрон, який летить із величезною швидкістю влучає в ядро урану.

Тоді ядро розпадається на дві-три частинки, які мають неоднакові маси, і декілька нейтронів, які розлітаються у різні боки з величезними швидкостями і отже мають великі запаси кінетичної енергії. Кажуть, що ядро „розщеплюється”. Ці нейтрони, в свою чергу, бомбардують нові ядра і теж розбивають їх і т.д. Керована ланцюгова реакція в ^{235}U може проходити тільки тоді, коли нейтрони сповільнюються до теплової швидкості за допомогою сповільнювача. Виникає, так би мовити, „дефект маси”, який приводить в свою чергу до виділення величезної кількості теплоти.

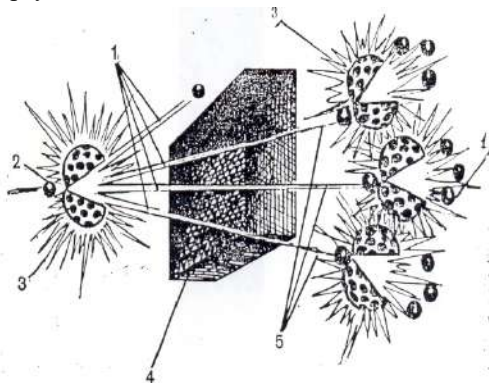


Рисунок 2.2 – Схема розщеплення ядра урану-235

1 – швидкі нейтрони; 2 – нейтрон, який розщеплює ядро; 3 – уран-235;
4 – сповільнювач; 5 – повільні (теплові) нейтрони

Одержана при розщепленні ядер енергія майже повністю перетворюється у теплову. Установка, у якій протікає керована реакція ділення, і є ядерним реактором. Для стійкої та безперервної роботи реактора необхідно, щоб процес ділення ядер був самопідтримуючим. Необхідно, щоб у нього втягувалась необхідна кількість ядер, яка визначається відповідною кількістю речовини, що поділяється, і називається критичною масою. Якщо ця кількість речовини буде менше за критичну, то реакція ділення припиниться, а якщо всі випущені нейтрони будуть викликати нові ділення ядер, то реактор зруйнується.

Вивільнена енергія проявляється у вигляді кінетичної енергії продуктів ділення і при їхньому гальмуванні приводить до розігрівання ото-

чуючого середовища, яким є теплоносії. На рисунку 2.3 наведена принципова технологічна схема АЕС.

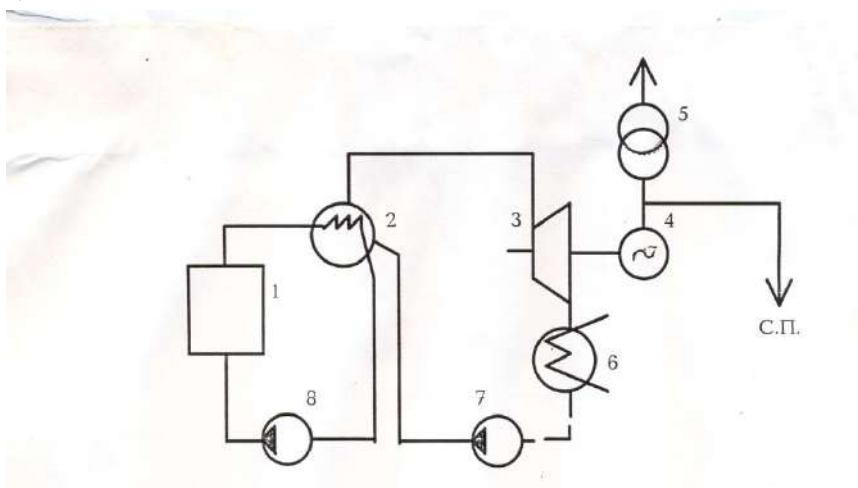


Рисунок 2.3 – Принципова технологічна схема АЕС

- 1 – реактор; 2 – парогенератор; 3 – турбіна;
4 – генератор; 5 – трансформатор; 6 - конденсатор турбін;
7 - живильний насос; 8 - головний циркуляційний насос

2.5 Чорнобильська катастрофа

Чорнобильська катастрофа — найбільша екологічна катастрофа сучасності, яка трапилася о 00 год. 23 хв. 26 квітня 1986 року, коли вибухнув реактор 4- го енергоблоку Чорнобильської АЕС. Великий викид радіоактивного пилу (в тому числі йоду-131, цезію-137, стронцію-90) піднявся на висоту 1500 м і був перенесений вітром до Скандинавії, Центральної та Південно-Східної Європи, Північної Італії. Радіоактивного ураження зазнали близько 600 тис. осіб, насамперед ліквідатори катастрофи (пожежники, військові, фахівці, котрі гасили пожежу, дезактивували місцевість, споруджували захисний комплекс - Саркофаг). З обороту вилучено близько 5 млн. га землі (навколо АЕС створена 30-км зона відчуження)

Аварія призвела до забруднення більше 145 тисяч кв. км території України, Республіки Білорусь та Російської Федерації. Внаслідок Чорнобильської катастрофи постраждало майже 5 мільйонів людей, забруднено радіоактивними нуклідами близько 5 тисяч населених пунктів Республіки

Білорусь, України та Російської Федерації. З них на Україні - 2218 селищ та міст з населенням приблизно 2,4 млн. людей. Чорнобильська аварія призвела до безпрецедентного опромінення населення зазначених держав. Крім України, Республіки Білорусь та Російської Федерації вплив Чорнобильської катастрофи відчували на собі Швеція, Норвегія, Польща, Великобританія та інші країни.

Головними причинами катастрофи було:

1. Проведення недостатньо повно та правильно підготовленого експерименту.
2. Низький рівень культури операторів, керівництва як станцій, так і міністерства електрифікації в цілому в галузі ядерної безпеки.
3. Недостатній рівень безпеки графіт-уранового реактора РБМК-1000.
4. Помилки персоналу.

Контрольні питання:

1. Дайте визначення енергетики як системи і охарактеризуйте призначення її складових.
2. Дайте визначення електроенергетики.
3. Охарактеризуйте коротко значення енергетики для життя людей.
4. Опишіть фізичні основи розщеплення ядра урану і процеси, що його супроводжують.
5. Викладіть принципи дії атомного реактора на теплових нейтронах і назовіть складові його конструкції.
6. Які наслідки Чорнобильської катастрофи?
7. Які основні причини Чорнобильської катастрофи?

3. Хімія

3.1 Тема, мета та завдання уроку. План уроку.

Тема уроку: Дезактивація об'єктів, які мають радіаційне забруднення. Гумінові кислоти та гумати з торфу та бурого вугілля як сорбенти радіонуклідів з ґрунту та природних водоймищ

Мета та завдання уроку:

- **освітні:** отримати уявлення про морфологію, генезис, властивості гумінових кислот та гуматів, а також про їх сорбційну активність по відношенню до радіонуклідних забруднювачів; ознайомитися з основними типами дезактивації об'єктів, які мають радіаційне забруднення;
- **розвиваючі:** удосконалення вміння практичної роботи з хімічними реактивами у ході лабораторного експерименту, формування навичок роботи у групі, розвиток метапредметних та загальнонавчальних алгоритмів та навичок на прикладі хімії як навчальної дисципліни;
- **виховні:** формувати культуру роботи в групі: учень-учень, учень-група, група-вчитель, а також формувати найпростіші навички дослідницької роботи.

Важлива **мотивація учнів до навчальної діяльності:** зацікавлені цікавими фактами, вони вивчають малюнки слайдів, беруть участь в бесіді. Вчитель викладає пізнавальний матеріал, під час якого учні беруть участь у розмові, відповідають на запитання, формують свої судження, встановлюють зв'язок між фактами і темою уроку.

Вчитель використовує мультимедіа; показує колби з торфом, бурим вугіллям, рідкими гуматами, здійснює доброзичливий і діловий настрій на урок.

План уроку:

1. Організаційний момент.
2. Опитування домашнього завдання.
3. Актуалізація знань. Вступне слово вчителя. Фронтальна бесіда.
4. Вивчення основних питань теми:
 - фізико-хімічні властивості;
 - гомологи та ізомери;
 - способи отримання;
 - сфера використання;

- дезактивація;
5. Закріплення матеріалу через самостійне виконання завдань з самоперевіркою.
 6. Домашнє завдання.
 7. Висновки. Підсумки уроку.

3.2. Вступ. Проблематика ліквідації наслідків аварії на ЧАЕС.

Розглянемо особливості проведення дезактиваційних робіт на прикладі Чорнобильської катастрофи.

Після вибуху 4-го енергоблоку одразу виникли 3 основні проблеми. У цьому випадку для їх вирішення були потрібні інженери-хіміки. Перша проблема – це гасіння реактора без використання води, друга - пригнічення пилу, оскільки основне забруднення навколишнього середовища було викликане викидом величезної кількості радіоактивного пилу в атмосферу. Третьою проблемою було знезараження будівель, доріг та обладнання. На жаль, підготовлених алгоритмів дій у цих умовах не було.

3.2.1. Гасіння реактора. Оскільки гасіння реактора необхідно було здійснити без використання води (щоб уникнути небажаного пароутворення) для вирішення цієї проблеми вчені вирішили засипати його твердими матеріалами, які б не випаровувалися. Для цього було запропоновано викидати з вертольотів мішки з піском, доломітом та свинцем безпосередньо у палаючий реактор. Але це можна було зробити лише з висоти 200 м через складну радіаційну обстановку (рис. 3.1).



Рисунок 3.1 – Вертоліт над мішками з піском з доломітом і парашути з борною кислотою та рідкою гумою

Складність роботи пояснювалася необхідністю попадання мішків у ціль. Свинець використовували для розплаву для зниження температури гарячого радіоактивного палива. Одночасно утворюється свинцева плівка і зменшує радіаційний фон. Крім того, суху борну кислоту також скидали в реактор, що спалює, для ефективного поглинання нейтронів. Звичайно така діяльність спричинила утворення пилу, яке не можна було дозволити. У цей час тут же було побудовано хімічну міні-майстерню для створення спеціальних композицій, які могли б швидко полімеризуватися на поверхні, утворюючи нерозчинні плівки. Хіміки на місці поліпшили ці розчини, використовуючи комбіновані полімери, фосфатні сполуки.

3.2.2 Зниження пилоутворення. Для вирішення цієї проблеми спочатку застосовували рідку гуму. Її також скидали безпосередньо на гаряче паливо. Окрім свого основного призначення, вона знижала температуру всередині палаючого реактора. Після цього були використані вініло-акрилові та бітумно-водні емульсії (рис. 3.2 а).

Різниця між ними полягає в тому, що бітумно-водні емульсії можуть збирати частинки пилу в агломерати і не утворювати тверду плівку, як акрилові сополімери. Ці методи придушення пилу є найбільш ефективними та застосовуються у всьому світі. Такі компоненти також використовувались для очищення ґрунтових доріг на території Чорнобильської АЕС.

Для ефективного зв'язування пилу на поверхні рекомендована доза реагенту становить 1 дм^3 2% розчину на квадратний метр. Ця доза може змінюватися в залежності від типу пилоутворювального компоненту та оброблюваної поверхні. Продукт для пилопригнічування розводиться безпосередньо в автоцистерні (до продукту додається вода) 25 дм^3 розбавлені 5000 дм^3 води. При об'ємі 1 л на квадратний метр можна обробити ділянку дороги площею в 5000 м^2 . Засіб наноситься рівним, непрозорим шаром: при такому нанесенні досягається бажана якість утвореного на поверхні дороги шару (рис. 3.2 б).

Тонка плівка утворює на поверхні дороги твердий шар, що дозволяє прибивати пил до землі. Це дозволяє уникнути підйому пилу вгору під дією поривів вітру. Для того щоб досягти цієї мети, необхідно нанести продукт на поверхню, в разі необхідності, кілька разів (рис. 3.3. та 3.4).

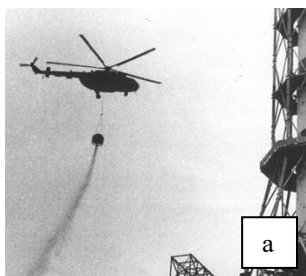


Рисунок 3.2 – Процес обробки реагентом проти пилу

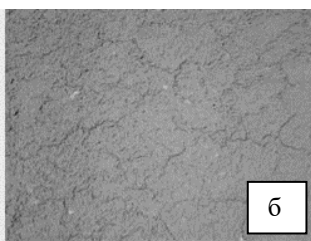
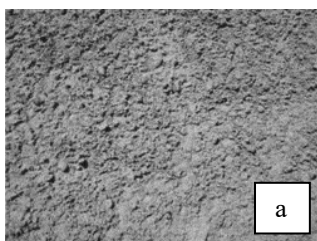


Рисунок 3.3 – Ґрунт після обробки реагентом проти пилу:
а – одноразова; б – дворазова



Рисунок 3.4 – Міцність та товщина шару ґрунту після обробки проти пилу

В результаті другого нанесення дорожній пил перестає розноситися по повітрю. Наведені нижче рисунки дозволяють переконатися в ефективності такої обробки, де вантажівки, які проїжджають по обробленій дорозі, не піднімають ніякого пилу (рис. 3.5).

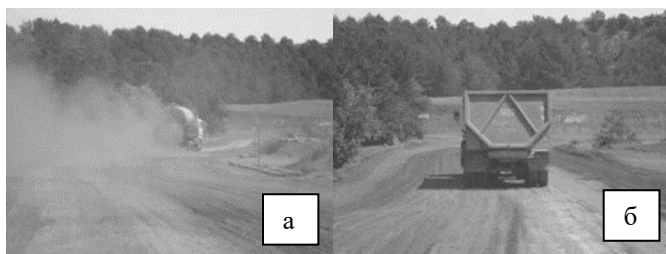


Рисунок 3.5 – Дорога до (а) та після (б) обробки реагентом проти пилу

3.2.3 Дезактивація території, будівель та транспорту. Після вибуху реактора в повітря потрапила радіоактивна хмара. Найбільш небезпечними були найактивніші ізотопи, які були короточасними (період напіввиведення - лише вісім днів). Спочатку був йод. Проблема полягала у його високій активності та здатності перетравлюватися живими організмами та накопичуватися в організмі, що є найгіршим. Тому лікарі говорили найбільше про йод, забороняли їсти зелень, дуже ретельно перевіряли молоко та забезпечували всіх працівників респіраторами, щоб запобігти проникненню йоду щитовидні залози.

Через місяць радіохіміки звернули свою увагу на плутоній, коли більша частина радіоактивного йоду занепадала. Він відомий як довгоживучий та токсичний. Нагромадження його навіть у малих дозах є досить небезпечним для легень.

Поверхні будівель, обладнання та спеціальних транспортних засобів були дезактивовані різними фізико-хімічними методами від забруднення суміші продуктів поділу урану, радіоактивних ізотопів та плутонію. Усі вони були засновані на миття поверхонь спеціальними розчинами (рис. 3.6 та 3.7).

Ці реагенти або розчиняють, або комбінують радіоактивні ізотопи у складні сполуки, які потрібно врешті-решт видалити. З цією метою хіміки використовували розчини поверхнево-активної речовини (гардінол, сульфолон, змочувачі ОП – 7, ОП – 10) та комплексоутворювачі. Ці речовини значно підвищують дезактивуючу здатність розчинів ПАР, утворюючи складні сполуки з багатьма металами (продуктами ядерного вибуху), які досить розчинні у воді. Коли з'являються ці сполуки, сили



Рисунок 3.6 – Вертоліт розбризкує розчини для знезараження

зв'язку радіонуклідів з поверхнею слабшають. В результаті їх можна легко видалити із забрудненої поверхні. З метою досягнення максимальної ефективності процесу дезактивації розчини готували не пізніше ніж за добу до використання.

Обробка обладнання складалася з трьох етапів: промивання під високим тиском, обробка розчинами дезактивації та подальше її промивання під високим тиском (рис. 3.7.)



Рисунок 3.7 – Дезактивація території та транспортних засобів

3.3. Модель уроку

3.3.1 Гумати та гумінові кислоти

Вчитель: Епіграфом нашого уроку будуть слова А. Ейнштейна «Радість бачити і розуміти є найбільшим даром природи».

Сьогоднішнє заняття буде присвячено дуже цікавим природним речовинам, що мають величезне значення в процесах біо- та геометаморфізму, а також можуть виступати в якості чудових сорбентів для важких металів та радіонуклідів.

Гумати та гумінові кислоти є майже всюди в природі. Це основна органічна складова ґрунту, води, а також твердих горючих копалин. Гумінові кислоти містяться в таких породах як буре вугілля, сапропель і торф. Буре вугілля найбільше містить гумінових кислот до 86%, тобто відходи видобутку бурого вугілля - основне джерело гумінових речовин, а це вирішує багато екологічних проблем.

Сучасними науковими дослідженнями встановлено, що гумінові препарати нешкідливі для людини і тварин, не мають алергенної, анафілатогенної, тератогенної, ембріотоксичної та канцерогенної дії при використанні в рекомендованих дозах.

Можливості гумінових речовин безмежні, вони знаходять практичне використання в медицині, ветеринарії, при рекультивації забруднених техногенними токсикантами ґрунтів, при цьому вони виконують протекторну функцію, зв'язуючи іони радіонуклідів, важких металів та органічні токсиканти, тим самим перешкоджаючи попаданню забруднювачів у ґрунт та природні водойми.

Вперше німецький хімік Ф. Ахард виділив їх з торфу і повідомив про них у 1786 р [1], тому саме німецькі вчені розробляли перші схеми виділення та класифікації гумінових речовин, а також ввели і сам термін - «гумінові речовини» (похідне від латинського humus - «земля» або «ґрунт»). У 1981 році було прийнято рішення про створення Міжнародного товариства з вивчення гумінових речовин.

Це речовини досить складної структури (рис.3.8), а от що дозволяє нам взагалі відносити їх до класу кислот? Що ми в широкому сенсі називаємо кислотами?

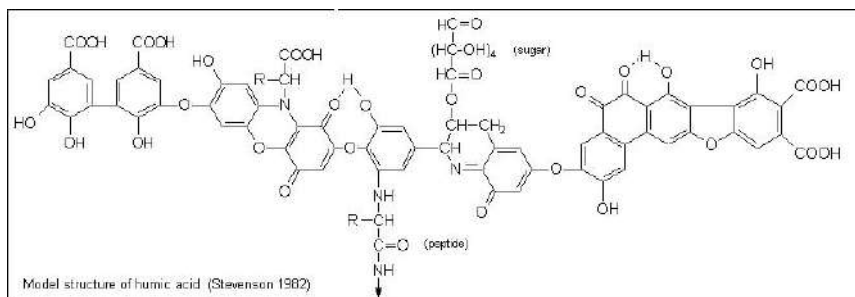


Рисунок 3.8 – Модель гумінової кислоти за Стівенсоном

Учень: Згідно протонної теорії будь-яка речовина, що може виступати донором протону носить кислотний характер. На кислотний характер також вказують функціональні групи.

Вчитель: Абсолютно вірно, а тепер нам допоможе виконане вами домашнє завдання. **Бесіда приймає фронтальний характер:**

- 1) Які функціональні групи входять до складу амінокислот?
- 2) Якими властивостями володіє гідроксильна група?
- 3) Якими властивостями володіє карбоксильна група?
- 4) Якими якостями буде володіти речовина, що поєднує в собі ці протилежні за властивостями функціональні групи?
- 5) Які амфотерні неорганічні сполуки ви знаєте?
- 6) Тоді гумінові кислоти ми назвемо ... (органічні амфотерні сполуки).

Вчитель: Переходимо до вивчення **фізичних** властивостей гумінових кислот та гуматів.

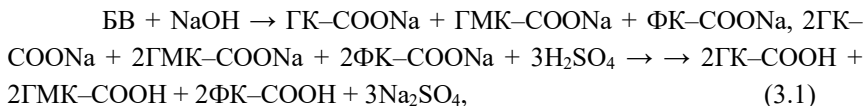
Це група темнофарбованих гумусових кислот, розчинних в лугах і нерозчинних у кислотах. Гумінові кислоти - складна суміш високомолекулярних природних органічних сполук, що утворюються при розкладанні відмерлих рослин та їх подальшої гуміфікації (біохімічного перетворення продуктів розкладання органічних залишків в гумус за участю мікроорганізмів, води і кисню). У сухому стані - неплавкий аморфний темно-бурий порошкоподібний продукт.

Хімічні властивості гумінових кислот розглянемо, працюючи в групах. Необхідно провести досліди і пояснити їх перебіг всьому класу. Записати хімічні рівняння на дошці і в зошитах.

Робота в групах: Всі учні мають на столах дану карту роботи.

Питання для класу:

- Як називаються речовини, які взаємодіють і з кислотами і з луками?
- Запишіть рівняння отримання гуматів з бурого вугілля і торфу:



де БВ - буре вугілля, що містить гумінові речовини, ГК - залишок гумінової кислоти, ФК - фульвокислоти, ГМК - гіматомеланові кислоти.

Екстракція ГК здійснювалася 1, 2 і 4% NaOH і КОН. Якщо до отриманого лужного екстракту додати будь-якої кислоти до рН 1-2, то випаде осад гумінової і гіматомеланової кислот, а фульвокислоти залишаться в розчині.

При осадженні ГК використовувались концентровані H_2SO_4 і H_3PO_4 до рН 2.

Хімічні реакційні властивості гумінових кислот, що залежать від їх будови показано у таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 – Хімічні реакції, характерні для гумінових кислот.

Структурна група	Тип взаємодії
COOH	іонний обмін
CAr-OH	комплексотворення
=C=O	окиснення-відновлення
C ₆ H ₆	донорно-акцепторні
-CH _n	гідрофобні взаємодії

Робота в групах: Зараз ми опрацюємо ситуації в групах. Для відповіді на поставлені питання можна використовувати виданий матеріал, підручник та життєвий досвід. Після обговорення ситуації та вивчення матеріалу група обирає спікера.

1 група: Виконати лабораторне дослідження, отримавши у вчителя ємності з розчинами гумінових кислот, гуматів, лимонної та хлористоводневої кислот, за допомогою індикаторного паперу визначити рН розчинів, порівняти, зробити висновки.

2 група: Ознайомитися з матеріалом статті. Пояснити залежність властивостей гумінових речовин від їх будови.

Це основна органічна складова ґрунту, води, а також твердих палих копалин. Гумінові речовини утворюються при розкладанні рослинних та тваринних залишків. В.І. Вернадський називав гумати **«продуктом еволюції живої та неживої всепланетарної речовини»**

Утворення гумінових речовин, або гуміфікація, — це другий за масштабністю процес перетворення органічної речовини після фотосинтезу. В результаті фотосинтезу щорічно зв'язується біля $50 \cdot 10^9$ т атмосферного вуглецю, а при відмиранні живих організмів на земній поверхні

утворюється біля $40 \cdot 10^9$ т вуглецю. Частина залишків мінералізується до CO_2 і H_2O , решта перетворюється у гумінові речовини. Щорічно в процесі гуміфікації задіяно $0,6\text{--}2,5 \cdot 10^9$ т вуглецю.

Фундаментальні властивості гумінових кислот – це нестехіометричність складу, нерегулярність будови, гетерогенність структурних елементів та полідисперсність (рис.3.9). Для цих речовин ніби зникає поняття молекули.

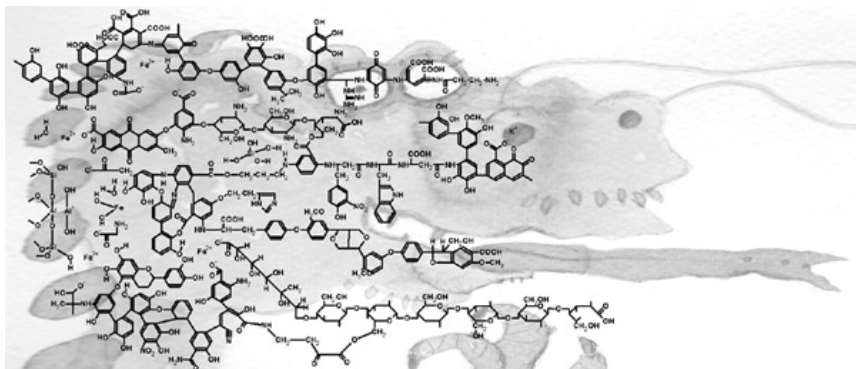


Рисунок 3.9 – Гіпотетичний структурний фрагмент структури гумінової кислоти з ґрунту (Кляйнхемпель, 1970).

Ми можемо говорити лише про молекулярний ансамбль, кожен параметр якого описується розподілом, тому для опису будови гумінових кислот та гумітів неможливо використати традиційний метод опису будови органічних речовин, - визначити кількість атомів в молекулі та типи зв'язків між ними. В якісь моменти вченим, мабуть, здавалося, що з цими речовинами зовсім неможливо працювати, - вони наче «чорна скринька», в якій все відбувається кожного разу непередбачувано та інакше.

Основні природні джерела гуматів – торф, буре вугілля та сапропелі. Основний метод виділення гуматів – екстрагування лугами(KOH та NaOH). Така обробка переводить їх у водорозчинні біологічно активні солі (рис.3.10). Метод практично безвідхідний.

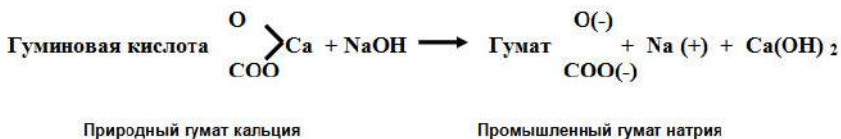


Рисунок 3.10 – Приклад виділення гумату із природних речовин

3 група: Прочитавши статтю, пояснити роль гуматів у зв'язуванні екотоксикантів.

Наприкінці XX століття, одною з основних проблем якого стало хімічне та радіологічне забруднення довкілля, гумінові речовини почали виконувати роль природних детоксикантів. Гумусові кислоти зв'язують у надійні комплекси іони металів, радіонукліди та органічні екотоксиканти у воді і ґрунті (рис. 3.11). Відомо, що зв'язана речовина не така шкідлива, оскільки втрачає біодоступність.

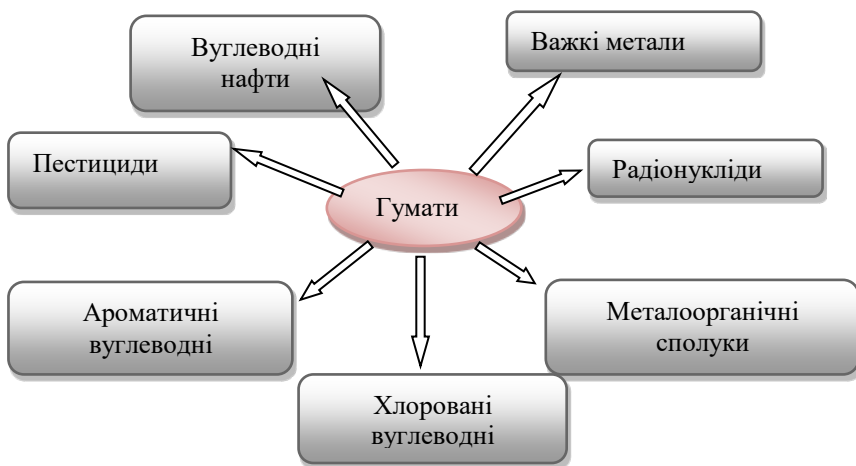


Рисунок 3.11 – Сорбування екотоксикантів гуматами та гуміновими кислотами

Основне завдання сучасної хімічної науки в цій сфері – отримання гумінових сорбентів високої активності на мінеральних матрицях (рис. 3.12). Навіщо це необхідно? Основне, що зупиняє активне використання гумінових речовин в природоохоронних технологіях: після того, як

детоксикант вносять у ґрунт, він сорбує радіонуклід або важкий метал, і незрозуміло, як зупинити його подальший рух. Ідеально було б змусити сорбенти незворотно приставати до мінеральних поверхонь – піску чи глини. Найзручніший метод – створити зв'язок Si—O—Si між гуминовою речовиною і мінеральною матрицею. Як результат, маємо порошок з поверхнево-активними групами, які після розчинення у воді будуть прилипати до мінеральної поверхні.

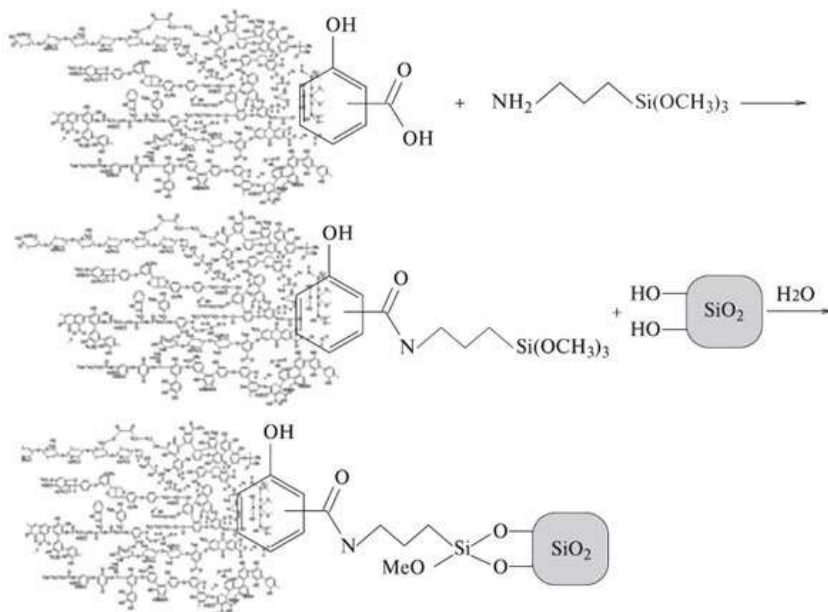


Рисунок 3.12 – Механізм нанесення гумату на мінеральну матрицю

3.3.2. Дезактивація радіоактивно забруднених об'єктів. Переходимо до вивчення дезактивації об'єктів, які є радіаційно забрудненими.

Дезактивація об'єктів (устаткування і приміщень), які мають радіаційне забруднення – це спеціальна обробка, яку проводять з метою:

- мінімізації витрат для забезпечення безпечних умов перебування в забрудненій зоні живих істот;

- нерозповсюдження радіоактивного забруднення;
 - вирішення питань подальшого використання обладнання;
- зниження утворення радіоактивних відходів.

На сьогодні розрізняють 2 типи дезактивації обладнання і приміщень – це рідинні та безрідинні (табл.3.2).

Безрідинні способи дезактивації базуються на механічному видаленні радіоактивних речовин з поверхні або ізоляції забрудненої поверхні. До них відносяться:

- газодинамічна дезактивація;
- вакуумна дезактивація;
- дезактивація полімерним покриттям;
- дезактивація крацювання (механічна дезактивація).

Рідинні способи дезактивації базуються на використанні фізико-хімічних процесів впливу рідини на забруднену поверхню. До рідинних способів дезактивації відносяться:

- струменева дезактивація;
- дезактивація з використанням хімічних реагентів;
- пінна дезактивація;
- парова дезактивація;
- ультразвукова дезактивація;
- електрохімічна дезактивація;
- дезактивація пранням.

Струменева дезактивація застосовується для дезактивації:

- металевих покриттів для підлоги;
- термопластичних покриттів приміщень;
- лакофарбових покриттів приміщень;
- демонтованого технологічного обладнання.

Як робоче середовище застосовують: демінералізовану воду (з абразивом або без), демінералізовану воду з добавками лужних, кислотних розчинів або ПАР. Струменева дезактивація повинна здійснюватися на місцях з пристроями для збору відпрацьованого дезактивуєчого розчину. Проведення струменевої дезактивації з використанням хімічних реагентів або абразиву, допускається тільки в камерах, або в приміщеннях з припливно-витяжною вентиляцією, що забезпечує в робочій зоні крат-

ність обміну повітря за санітарними нормами. Тиск води, що застосовується в системі, має бути регульованим в залежності від морфології і ступеня адгезії забруднень поверхні, що дезактивують. У разі застосування реагентів для дезактивації, після виконання робіт необхідна промивка поверхні чистою водою.

Дезактивація хімічними реагентами базується на хімічному впливі реагентів на поверхню. При цьому радіоактивні відкладення знімаються за рахунок хімічної взаємодії при заповненні обладнання хімічним розчином або зануренням його в відповідний хімічний розчин. Для дезактивації обладнання повинні застосовуватися контурний або хімічний спосіб дезактивації зануренням, які базуються на послідовному впливі хімічних реагентів на радіоактивне забруднення і корозійні відкладення.

Спосіб дезактивації хімічними реагентами повинен застосовуватися при дезактивації (див. табл. 3.2):

- технологічного обладнання на місцях;
- демонтованого технологічного обладнання;
- фрагментованого технологічного обладнання.

Пінна дезактивація – дезактивація поверхні обладнання і приміщень з використанням спіненого дезактивуючого розчину. При проведенні пінної дезактивації повинні застосовуватися наступні реагенти: іоногенні ПАР; шавлева, азотна, сірчана кислоти; калій фторид.

Спосіб пінної дезактивації повинен застосовуватися при дезактивації:

- металевих покриттів для підлоги;
- термопластичного покриття приміщень;
- лакофарбового покриття приміщень;
- демонтованого технологічного обладнання;
- фрагментованого технологічного обладнання.

Отримання і нанесення піни на поверхні повинно проводитися за допомогою піногенераторів, що приводяться в дію стисненим повітрям. Піноутворюючий розчин повинен містити воду, ПАР і дезактивуючі компоненти. Концентрація ПАР в піноутворюючого розчину повинна забезпечувати лінійну швидкість генерації піни на виході з генератора піни не менше 2 м/с, і не перевищувати при цьому 30 г/дм³. Піноутворюючий розчин і його компоненти повинні бути пожеже- або вибухобезпечними

Таблиця 3.2 – Зведений перелік способів дезактивації і відповідності методів дезактивації об'єктів дезактивації

Тип дезактивації	Металеві покриття підлоги сталь 3, неірж. сталь	Термопластичне покриття приміщень	Лакофарбове покриття приміщень	Технологічне обладнання на місцях	Демонтоване технологічне обладнання	Фрагментоване технологічне обладнання
Струменева дезактивація	+	+	+	-	+	+
Хімічними реагентами	-	-	-	+	+	-
Пінна дезактивація	+	+	+	-	+	-
Парова дезактивація	+	+	+	-	-	-
Рідинна в полі ультразвуку	-	-	-	-	-	+
Електрохімічна	-	-	-	-	+	+
Газодинамічна	+	-	+	+	+	+
Вакуумуванням	+	+	+	-	-	-
Полімерними плівками	+	-	-	+	+	-
Дезактивація крацеванням	+	-	-	-	+	-

при зберіганні і застосуванні. Він не повинен містити твердих часток та шкідливих речовин, що виділяються в повітря робочих приміщень при зберіганні і застосуванні в кількостях, що призводять до перевищення гранично допустимих концентрацій. Для видалення піни після її контакту

із радіоактивною поверхнею необхідно використовувати вакуумні установки або ганчір'я.

Парова дезактивація полягає у ежекторному способі подачі гарячого дезактивууючого розчину за допомогою насиченої пари під тиском.

При проведенні парової дезактивації повинні використовуватися окремо або в комбінації наступні реагенти: гідроксид калію; гідроксид натрію; перманганат калію; гексаметифосфат; сульфолон; щавлева кислота; азотна кислота; лимонна кислота.

Спосіб парової дезактивації застосовується при дезактивації:

- металевих покриттів для підлоги;
- термопластичних покриттів приміщень;
- лакофарбових покриттів приміщень;
- фрагментованого технологічного обладнання.

Обладнання установки дезактивації має забезпечувати тиск водяної пари на виході пароежекторного розпилювача в діапазоні $P = 3\text{--}6 \text{ кг/см}^2$, а її матеріал повинен забезпечувати стійкість до кислот і лугів в концентрації до 80 г/дм^3 . Швидкість дезактивації має бути не менше $1 \text{ м}^2/\text{хв}$, а витрати дезактивууючого розчину не більше $1,0 \text{ дм}^3/\text{м}^2$.

Рідинна дезактивація в полі ультразвуку базується на видаленні радіоактивних забруднень з поверхні обладнання за рахунок збудження пружних коливань в рідкому середовищі, в яку поміщається об'єкт дезактивації.

Ультразвуковий спосіб дезактивації застосовується для дезактивації фрагментованого технологічного обладнання. Ультразвукова дезактивація повинна здійснюватися занурювальним способом, при якому об'єкт дезактивації розташовується в ємності з розчином, в якій певним чином розміщені генератори ультразвуку.

Для її проведення використовують наступні розчини реагентів: неорганічні кислоти; гідроксиди калію, натрію; ПАР. Ванна ультразвукової дезактивації має бути споряджена звуко-ізолюючими кожухами, що забезпечують рівні звукових тисків на робочих місцях.

Електрохімічна дезактивація (ЕХД) полягає у видаленні радіоактивно забрудненого поверхневого шару матеріалу в рас-творах електролітів під дією електричного струму.

ЕХД повинна проводитися за допомогою установки ЕХД:

- занурювальним способом;
- «напівсухим» способом за допомогою виносного катода.

При занурювальному способі обладнання для дезактивації (деталь) опускають в електроліт (або електроліт заповнює ємнісне обладнання) і через систему «деталь (деталь є анодом) – електроліт – катод» проходить електричний струм.

При напівсухому способі дезактивація проводиться шляхом повільного переміщення катода по поверхні для дезактивації або шляхом послідовної перестановки катода на нові суміжні ділянки з витримкою певний час.

Електрохімічний спосіб застосовується для дезактивації:

- демонтованого технологічного обладнання;
- фрагментованого технологічного обладнання.

Електролітами для електрохімічного способу дезактивації є: ортофосфорна кислота; сірчана кислота; азотна кислота; щавлева кислота.

Як діелектрик для виносних катодів повинні бути використані азбестове полотно або вуглецева тканина. Обладнання установки ЕХД має забезпечувати тривалість циклу дезактивації не менше 15 хв. та анодний щільність струму не менше $0,05 \text{ А/м}^2$. Установка повинна бути обладнана фільтрами для очищення електроліту від радіонуклідів та системою нейтралізації електроліту гідроксидами.

При використанні ЕХД необхідно здійснювати контроль накопичення на катоді радіоактивних речовин, які можуть створювати високу потужність дози гамма-випромінювання.

Дезактивація спецодягу проводиться пранням із застосуванням хімічних реагентів.

Типи речей, для яких застосовують дезактивацію пранням: нательна білизна; рушники; шкарпетки; берети; спецодяг.

Технологічний процес дезактивації спецодягу в спеціальних пральнях складається з таких основних операцій:

- прийом, радіометричний контроль забруднених речей і сортування по групах, в залежності від ступеня і виду забруднення;
- вибір відповідного технологічного режиму в залежності від ступеня і виду забруднення речей;
- обробка в пральних машинах;

- віджимання спецодягу (бавовняної, лавсанової і з змішаних тканин), натільної білизни, рушників і шкарпеток;
- сушка;
- радіометричний контроль дезактивованого спецодягу;
- прасування;
- упаковка і видача спецодягу.

Якщо залишкове забруднення речей перевищує допустимі рівні, то їх необхідно піддавати повторній дезактивації. Якщо і після повторних дезактивації їх забрудненість перевищує допустимі рівні, ці речі повинні бути спрямовані на поховання як радіоактивні відходи. В таблиці 3.3 наведено деталі режиму проведення дезактивації спецодягу.

Таблиця 3.3 – Уніфікований режим для дезактивації спецодягу

№	Найменування	Температура, °С	Витрата рідини, дм³/кг	Витрата на 1 кг сухого спецодягу						Тривалість обробки, хв.
				Вода, дм³	ПАР, г	СМС, г	Сода кальцинована, г	Натрій поліфосфат, г	Щавлева кислота, г	
1	Прання 1	40	5	5	10	-	-	30	10	15
2	Проміжне віджимання			-	-	-	-	-	-	2
3	Полоскання	50	7	6	-	-	-	-	-	3
4	Прання 2	70	5	2,5	-	20	10	20	-	15
5	Проміжне віджимання			-	-	-	-	-	-	2
6	Прання 3	90	5	4	-	10	10	-	-	10
7	Полоскання	70	7	4,5	-	-	-	-	-	3
8	Проміжне віджимання				-	-	-	-	-	2
9	Полоскання	60	7	6	-	-	-	-	-	3
10	Полоскання	50	7	4,5	-	-	-	-	-	3
11	Полоскання	30	7	4,5	-	-	-	-	-	3
12	Заключне віджимання				-	-	-	-	-	10
	Всього:			37	10	30	20	50	10	71

Вчитель: Тепер переходимо до **безрідинних способів дезактивації**.

Газодинамічний спосіб – видалення радіоактивних забруднень з робочої поверхні устаткування і приміщень шляхом дії струму абразиву, що надходить за допомогою стиснутого повітря з високим прискоренням на об'єкт через сопло.

Газодинамічна дезактивація повинна проводитися способами:

- подачею абразиву під розрідженням інжекційними установками;
- подачею абразиву під тиском установками напірного типу.

Газодинамічна дезактивація застосовується для дезактивації:

- металевих покриттів для підлоги;
- лакофарбових покриттів приміщень (з видаленням даних покриттів);
- технологічного обладнання на місцях;
- демонтованого технологічного обладнання.

Широко використовуються наступні типи абразиву: пісок, купешлак, сталевий та чавунний дріб.

Установка газодинамічної дезактивації повинна мати пристрій дистанційного керування. Проведення такої дезактивації допускається тільки в камерах з вентиляцією, що забезпечує в робочій зоні кратність обміну повітря за санітарними нормами і збір відпрацьованого абразиву.

Дезактивація вакуумуванням – це видалення радіоактивних забруднень з робочої поверхні устаткування і приміщень шляхом створення розрідження на робочій поверхні. Як пристрої вакуумування можуть застосовуватися пилососи, водопилососи, ежектори.

Дезактивація вакуумуванням застосовується для очищення поверхонь устаткування і приміщень з нефіксованим радіоактивним забрудненням, очищення поверхонь після дезактивації піною, крацювання або як підготовка до наступних методів дезактивації, чутливих до сторонніх забруднень. При виконанні робіт повинен бути забезпечений постійний контроль ефективності роботи кожного елемента очищення вакуумованого повітря.

Дезактивація полімерним покриттям – це видалення радіоактивних забруднень з робочої поверхні устаткування і приміщень

шляхом нанесення на поверхню затвердіння полімерних складів із сорбційним наповнювачем і їх подальшим видаленням.

Як полімерні покриття можуть використовуватися склади на основі полівінілового спирту, полівінілацетатної емульсії, сополімерів вінілацетату та інших сполук, що утворюють після висихання покриття, які легко видаляються.

Полімерні покриття можуть наноситися на поверхню методами пневматичного та безповітряного розпилення, наливом або пензлем.

Полімерні покриття можуть застосовуватися для дезактивації наступних предметів:

- металевих покриттів виробничих приміщень;
- технологічного обладнання на місцях;
- демонтованого або фрагментованого технологічного обладнання.

При застосовуванні в умовах низьких температур покриття повинні зберігати свої властивості до -20°C . Дезактивуєчий захисні полімерні покриття мають бути вибухо- та пожежобезпечні, а після висихання через 24 год вони не повинні виділяти токсичних речовин в кількості, що перевищує гранично допустимі концентрації.

Дезактивація крацюванням – механічна дезактивація поверхонь еластичними щітками вручну або з використанням спеціальних приладів. Вона застосовується для очищення поверхонь від слабоадгезованих забруднень і підготовки до наступних методів дезактивації, які є чутливіми до сторонніх забруднень, наприклад ЕХД.

Спосіб крацювання повинен застосовуватися для дезактивації:

- технологічного обладнання на місцях;
- демонтованого технологічного обладнання.

Як інструменти для ручної роботи застосовують щітки з металевою або полімерної щетини; для роботи механічними пристроями – насадки зі сталевую або мідною щетиною.

При виконанні робіт з дезактивації крацюванням необхідно використовувати засоби індивідуального захисту: щільний спецодяг, рукавички, окуляри герметичні, респіратор.

4. Екологія

4.1 Тема, мета та завдання уроку

Тема уроку: Чорнобильська катастрофа та її екологічні наслідки

Мета та завдання уроку:

- охарактеризувати причини та екологічні наслідки Чорнобильської катастрофи для України;
- порівняти територію України до і після радіоактивного забруднення;
- формувати вміння працювати з картами та відеоматеріалами, встановлювати причинно-наслідкові зв'язки;
- виховувати зацікавленість до екологічних проблем України.

Під час уроку використовуються ілюстрації, документи, презентації, відео, картосхеми та атласи.

4.2 Вступ

26 квітня 1986 року на 4-му енергоблоці Чорнобильської АЕС стався вибух, який повністю зруйнував реактор. В результаті аварії стався викид в довкілля радіоактивних речовин. Після вибуху було евакуйовано 47500 жителів Прип'яті. Не дивлячись на те, що Чорнобильська атомна станція знаходиться в Україні, найсильніше після аварії постраждала Білорусь, на територію якої потрапило приблизно 60% викидів, а частина радіоактивного пилу осіла на землях європейських країн (Швеція, Фінляндія, Австрія). В результаті аварії радіоактивні осадки забруднили більше 200 тисяч кв. км. Європи. На небезпечно забруднених територіях опинилося більше 1 млн.ч. Забруднення більше 1 Кі на квадратний кілометр розповсюдилося на 9% території України, серед яких 18 з 25 областей України загальною площею 42 тисяч кв. км. З сільськогосподарської практики було вилучено 5 млн. га земель. Зараз у зоні відчуження проживають 140 (осіб) так званих самопоселенців. Приблизно 7 мільйонів людей в Україні, Росії та Білорусі отримують компенсацію внаслідок їх причетності до Чорнобильської катастрофи.

Від першого дня аварії і впродовж тривалого часу лівова частка первинних даних щодо подій на ЧАЕС були засекречені. Після здобуття Україною незалежності, було ухвалено закон, який забороняє засекречувати дані про екологічні катастрофи. (Див. відео про аварію на ЧАЕС).

4.3 Екологічні наслідки Чорнобильської катастрофи

Основним джерелом надходження техногенних радіонуклідів в атмосферне повітря на всій території країни на теперішній час є вторинний вітровий підйом радіоактивних елементів із земної поверхні. В результаті радіоактивного розпаду, дії дощу і вітру, діяльності людини і ухвалення контрзаходів поверхневе забруднення міських територій радіоактивним матеріалом було в значній мірі зменшено. Проте, в результаті дезактивації міських територій утворилися значні об'єми радіоактивних відходів низького рівня активності, які, в свою чергу створили проблему їх поховання.

Після чорнобильської аварії найбільш високі рівні поглинання радіоактивного цезію були зареєстровані в лісовій рослинності і тварин, що мешкають в лісах. У західній Європі дотепер застосовується ряд контрзаходів відносно продукції тваринництва, вироблюваної на височинах і в лісистій місцевості, із-за високого і тривалого поглинання радіоактивного цезію постраждалими системами екстенсивного землеробства.

У відповідь реакція навколишнього середовища на чорнобильську аварію була складною взаємодією таких чинників, як накопичена доза, потужність дози і її тимчасові і просторові варіації. Як індивідуальні, так і групові ефекти, викликані радіаційно-індукованою загибеллю кліток, спостерігалися у рослин і тварин таким чином:

- підвищена загибель хвойних рослин, що мешкають в ґрунті безхребетних і ссавців;
- втрата репродуктивності у рослин і тварин;
- хронічний променевий синдром у тварин (ссавців, птахів і т.д.).

Використання деревини і деревної продукції вносить лише невеликий внесок у формування дози опромінювання населення, хоча зола може містити великі активності ^{137}Cs і потенційно привести до вищих доз, чим при іншому використанні дерева. Лісові пожежі збільшили концентрації радіонуклідів в повітрі в 1992 році і представляють небезпеку залучення радіонуклідів в кругообіг речовин і дотепер.

Високі концентрації радіоактивних речовин в поверхневих водах безпосередньо після аварії швидко скорочувалися, і в даний час у питній і зрошувальній воді концентрації радіонуклідів є вельми низькими. Проте, ґрунтові води в регіоні аварії знаходяться близько до поверхні, тому чор-

нобильські радіонукліди найближчими роками після аварії опинилися в ґрунтових водах інших країн Європи. Біонакопичування радіоактивного цезію у водному харчовому ланцюжку привело до значних концентрацій радіонуклідів в рибі в найбільш постраждалих районах, а також в деяких озерах, що знаходяться на великому видаленні, наприклад в Скандинавії і Німеччині.

Моніторинг радіаційного забруднення навколишнього природного середовища на всій території країни здійснює Гідрометеорологічна служба, використовуючи стаціонарну мережу спостережень. Фахівці у сімох різних областях України проводять відбір проб повітряних аерозолів для визначення радіоактивного забруднення приземного шару атмосферного повітря. Представлені карти демонструють радіаційну ситуацію на території України, яка склалася внаслідок техногенної катастрофи на Чорнобильській АЕС.

Додаткові картографічні матеріали можна знайти за посиланнями:

1. Річниця Чорнобильської катастрофи: який радіаційний стан в Україні у 2018 році <https://racurs.ua/ua/n104246-richnycy-a-chornobylskoyi-katastrofy-yakyy-radiaciynnyy-stand-v-ukrayini-zaraz-karta-video.html>

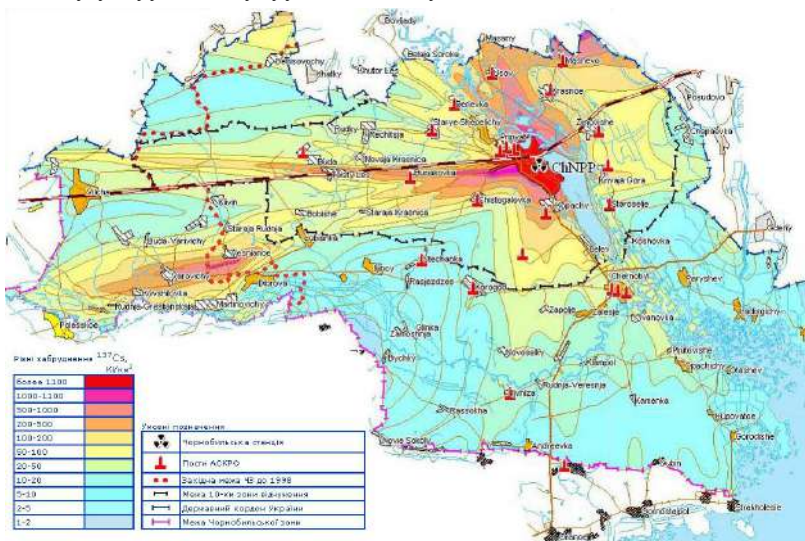


Рисунок 4.1 – Забруднення Чорнобильської зони ^{137}Cs після Чорнобильської аварії

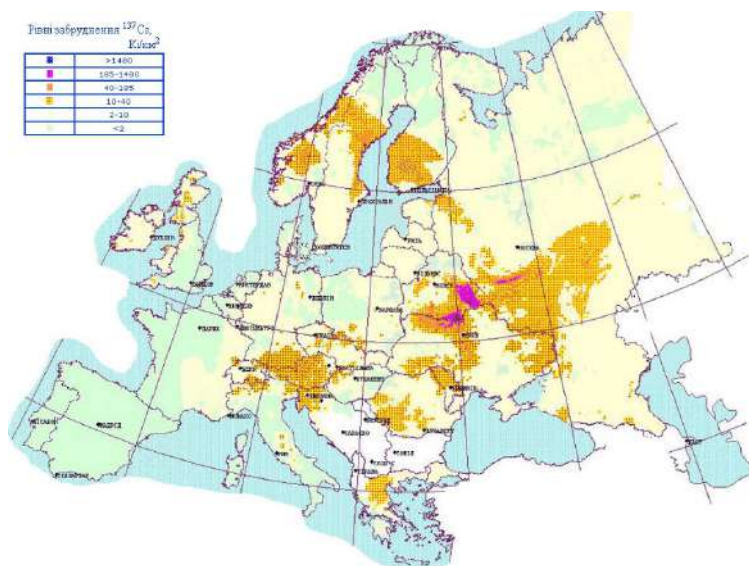


Рисунок 4.2 – Забруднення Європи ^{137}Cs після Чорнобильської аварії

2. Карти радіаційного забруднення зони відчуження

<http://dazv.gov.ua/dostup-do-publichnoji-informatsiji/karty-radiatsiinoho-zabrudnennia-zony-vidchuzhennia.html>

4.4 Вимірювання природної радіоактивності в класі

Природна радіоактивність — самовільний розпад ядер елементів, які зустрічаються в природі.

Основну частину опромінення населення земної кулі одержує від природних джерел радіації. Більшість з них такі, що уникнути опромінення від них зовсім неможливо. Радіоактивні речовини можуть знаходитися поза організмом і опромінювати його зовні (зовнішнє опромінення). Вони також можуть опинитися в повітрі, в їжі або у воді й потрапити всередину організму (внутрішнє опромінення). Зараз налічується близько 70 радіонуклідів природного походження.

Сумарна бета-активність аерозолів (ізоотопів урану, торію та продуктами їх розпаду) в середньому по країні знаходиться в межах $10,6 \times 10^{-5}$ Бк/м³.



Рисунок 4.3 – Меню портативного побутового приладу для вимірювання радіації

За допомогою портативного дозиметру можна виміряти значення природної радіоактивності в класі та за його межами (наприклад, біля пам'ятника або гранатних плитах, де є природне каміння) та порівняти з нормативним значенням, яке складає 0,5мкЗв/годину..

4.5 Висновки

Екологічні наслідки Чорнобильської катастрофи визначаються двома головними факторами – опроміненням природних об'єктів та їх радіоактивним забрудненням. За минулі після аварії більш ніж 30 років повністю розпались не тільки короткоживучі, а й середньоживучі радіонукліди. В навколишньому середовищі залишилися практично тільки довго- та наддовгоживучі радіонукліди цезію, стронцію та трансуранових елементів. Отже потужність дози зовнішнього опромінення значно зменшилася. Проте навіть зараз ще важко прогнозувати можливі наслідки розповсюдження радіаційного забруднення за межі зони відчуження та навіть України завдяки міграції радіонуклідів трофічними ланцюгами та в наслідок трансграничного переносу.

Контрольні питання:

1. Охарактеризувати сучасні екологічні наслідки аварії для людини.
2. Які екологічні наслідки аварії можуть бути для флори та фауни?
3. Які загрози забруднення флори і фауни може становити для людини в майбутньому?
4. Які способи розповсюдження радіоактивного забруднення можливі за межі території зони відчуження?

5. Охорона праці та цивільний захист

5.1 Тема, мета та завдання уроку

Тема уроку: Охорона праці та цивільний захист на АЕС

Мета уроку: визначити необхідність заходів з охорони праці та цивільного захисту на АЕС.

Завдання уроку:

- дізнатися про стан атомної енергетики в Україні;
- обговорити важливість заходів безпеки у атомній енергетиці;
- визначити, які самі заходи з охорони праці є актуальними при роботі на АЕС;
- дізнатися про заходи з цивільного захисту, що розроблені на випадок аварій на АЕС.

5.2 Вступ

Через рік після аварії на ЧАЕС, прямо в зоні відчуження - в евакуйованому Чорнобилі - відбувся суд над керівниками та інженерами ЧАЕС. Це були директор ЧАЕС Віктор Брюханов, головний інженер станції Микола Фомін, заступник головного інженера станції Анатолій Дятлов, начальник реакторного цеху №2 Олександр Коваленко, інспектор Держатомснергонагляду на ЧАЕС Юрій Лаушкін і начальник зміни станції Борис Рогожкін.

Прокуратура звинувачувала шістьох підсудних за статтею 220 КК УРСР (порушення правил безпеки на вибухонебезпечних підприємствах і у вибухонебезпечних цехах), статті 165 КК УРСР (зловживання владою або службовим становищем) і статтею 167 КК УРСР (халатність). Всі пункти звинувачення говорять про порушення правил безпеки експлуатації небезпечного об'єкта, безвідповідальна поведінка після аварії, порушення в організації ліквідації аварії.

Також були заведені справи на конструкторів, які робили небезпечний проект, на керівників, хто відповідав за евакуацію, охорону здоров'я, на співробітників Міненерго, які відповідали за безпеку. З різних причин, всі ці справи не дійшли до суду.

Як бачимо, недотримання правил безпеки на різних етапах «життя об'єкта» може призводити до катастрофічних наслідків для людства.

Безпекою людей під час роботи опікується система охорони праці, а **цивільний захист** – а це функція держави, спрямована на захист населення, територій, навколишнього природного середовища та майна від надзвичайних ситуацій шляхом запобігання таким ситуаціям, ліквідації їх наслідків і надання допомоги постраждалим у мирний час та в особливий період (ст. 4 Кодекс цивільного захисту України).

5.3 Атомна енергетика в Україні в наш час

Чорнобильська аварія розцінюється як найбільша у своєму роді за всю історію атомної енергетики, як за кількістю загиблих і потерпілих від її наслідків людей, так і за економічним збитком. Аварія на ЧАЕС мала колосальні наслідки не тільки для України а і для всього світу. Світове співтовариство переглянуло своє відношення до атомної енергетики, до питань безпеки «мирного атому». З 1986 по 2002 рік в країнах Північної Америки та Західної Європи не було збудовано жодної нової АЕС, що пов'язано як з тиском громадської думки, так і з тим, що значно зросли страхові внески і зменшилася рентабельність ядерної енергетики.

В СРСР було законсервовано або припинено будівництво та проектування 10 нових АЕС, заморожено будівництво десятків нових енергоблоків на діючих АЕС в різних областях і республіках.

В наш час Україна входить до першої десятки держав з розвинутою ядерною енергетикою. Після закриття Чорнобильської АЕС в Україні залишилися в експлуатації 4 атомні електростанції: Запорізька, Рівненська, Хмельницька та Южно-Українська, на яких працює 15 ядерних енергетичних установок із загальною встановленою потужністю 13835 МВт.

Постановою Кабінету Міністрів України 1996 року було створено державне підприємство «Національна атомна енергогенеруюча компанія «Енергоатом», скорочено ДП НАЕК «Енергоатом».

ДП НАЕК «Енергоатом» підпорядковується Міністерству енергетики та вугільної промисловості України, яке формує державну політику в галузі, представляє і відстоює інтереси України в МАГАТЕ та інших міжнародних організаціях щодо функціонування атомної енергетики.

МАГАТЕ – міжнародне агентство з атомної енергії це міжнародна організація для розвитку співпраці в сфері мирного використання атомної енергії. Заснована в 1957 році. Діяльність МАГАТЕ полягає в ор-

ганізації міжнародних наукових форумів для обговорення питань розвитку атомної енергетики, запобіганні розповсюдженню атомної зброї. Організація направляє в різні країни фахівців для допомоги в дослідницькій роботі, надає посередницькі міждержавні послуги з передачі ядерного устаткування і матеріалів. Велика увага в діяльності МАГАТЕ приділяється питанням забезпечення безпеки ядерної енергетики, особливо після аварії на Чорнобильській АЕС.

Ще одною міжнародною організацією з якою співпрацює Україна є Всесвітня асоціація організацій, що експлуатують атомні електростанції (скорочено ВАО АЕС, англійською World Association of Nuclear Operators)

ВАО АЕС було створено після аварії на Чорнобильській АЕС. Місією ВАО АЕС є підвищення рівня ядерної безпеки в кожній країні і кожному ядерному операторі шляхом обміну експлуатаційним досвідом і передовими практиками.

Безпека експлуатації АЕС це пріоритет діяльності компанії НАЕК «Енергоатом», що опікується атомними електростанціями в Україні.

За останні роки впроваджено на вітчизняних АЕС низку заходів з модернізації, підвищення безпеки і надійності. Було розроблено «План дій з виконання цільової позачергової перевірки безпеки і подальшого підвищення безпеки енергоблоків АЕС України», а також додаткові кроки з підвищення безпеки енергоблоків.

Багато існуючих АЕС додатково оснащені системами та обладнанням з новими функціональними можливостями, розробленими для запобігання важких аварій та зменшення їх наслідків. Відповідно до вимог Міжнародного агентства з атомної енергії (МАГАТЕ), на всіх АЕС України було створено повномасштабні тренажери з математичним моделюванням процесів, в тому числі в аварійних ситуаціях, де оперативний персонал проходить навчання та випробування. Нові проекти АЕС зараз безпосередньо включають аналіз важких сценаріїв аварій та стратегій управління такими аваріями. Проектування АЕС також керується вимогами, що стосуються державної системи обліку та контролю ядерних матеріалів, та вимогами, що стосуються забезпечення фізичної безпеки.

За участю міжнародних експертів на всіх атомних станціях України проведено оперативні перевірки стану безпеки та фізичного захисту

АЕС («стрес-тести»). Вони підтвердили надійність роботи атомних станцій.

Крім небезпеки експлуатації АЕС ще стає питання безпечної утилізації ядерного палива. На початку березня 2012 року набрав чинності Закон про будівництво централізованого сховища відпрацьованого ядерного палива (ЦСВЯП) у Чорнобильській зоні, що буде приймати відходи з трьох українських атомних станцій – Рівненської, Хмельницької та Южно-Української. Це дозволить нашій державі не лише зекономити сотні мільйонів доларів на вивезенні відпрацьованого палива до Росії, але й зберегти енергоресурси для майбутніх поколінь.

5.4 Охорона праці на АЕС

5.4.1 Державна політика в галузі охорони праці

Одною з умов безпечної експлуатації АЕС є ефективна робота системи управління охороною праці (СУОП). **Охорона праці** – це система правових, соціально-економічних, організаційно-технічних, санітарно-гігієнічних і лікувально-профілактичних заходів та засобів, спрямованих на збереження життя, здоров'я і працездатності людини у процесі трудової діяльності.

Кожне підприємство має розроблену систему управління Охороною праці, що враховує особливості галузі промисловості. Закон зобов'язує та гарантує нам це.

В основному законі – Конституції України (ст. 43) зазначено: "Кожен має право на належні, безпечні й здорові умови праці.. ". Державна політика в галузі охорони праці базується на принципах:

- пріоритету життя і здоров'я працівників, повної відповідальності роботодавця за створення належних, безпечних і здорових умов праці;
- підвищення рівня промислової безпеки шляхом забезпечення суцільного технічного контролю за станом виробництв, технологій та продукції, а також сприяння підприємствам у створенні безпечних та нешкідливих умов праці;
- комплексного розв'язання завдань охорони праці на основі загальнодержавної, галузевих, регіональних програм з цього питання та з урахуванням інших напрямів економічної і соціальної політики, досягнень в галузі науки і техніки та охорони довкілля;

- соціального захисту працівників, повного відшкодування шкоди особам, які потерпіли від нещасних випадків на виробництві та професійних захворювань;

- встановлення єдиних вимог з охорони праці для всіх підприємств та суб'єктів підприємницької діяльності незалежно від форм власності та видів діяльності;

- адаптації трудових процесів до можливостей працівника з урахуванням його здоров'я та психологічного стану;

- використання економічних методів управління охороною праці, участі держави у фінансуванні заходів щодо охорони праці, залучення добровільних внесків та інших надходжень на ці цілі, отримання яких не суперечить законодавству;

- інформування населення, проведення навчання, професійної підготовки і підвищення кваліфікації працівників з питань охорони праці;

- забезпечення координації діяльності органів державної влади, установ, організацій, об'єднань громадян, що розв'язують проблеми охорони здоров'я, гігієни та безпеки праці, а також співробітництва і проведення консультацій між роботодавцями та працівниками (їх представниками), між усіма соціальними групами під час прийняття рішень з охорони праці на місцевому та державному рівнях;

- використання світового досвіду організації роботи щодо поліпшення умов і підвищення безпеки праці на основі міжнародного співробітництва.

5.4.2 Заходи з охорони праці працівників на АЕС

За встановленими нормативними документами не рідше ніж один раз на п'ять років на атомній станції проводиться атестація робочих місць, і перший її етап – це заміри шкідливих і небезпечних факторів на робочих місцях, визначається, яка кількість працівників перебуває під їх дією. На основі цього коригується карта умов праці – вона або ж складається заново, або ж до неї вносяться зміни, якщо це потрібно. Ця карта зберігається на робочому місці, з нею ознайомлюються усі працівники. Мета атестації полягає в тому, щоб покращити умови праці, уникнути шкідливої взаємодії виробничих факторів на організм людини та забезпечити від професійних захворювань.

Питання: де на АЕС найнебезпечніше місце роботи? З точки зору обивателя, воно існує у центральній залі реакторної установи у момент перевантаження палива, тут можна отримати дозу опромінення, якщо не дотримуватися при виконанні цієї роботи усіх необхідних організаційних і технічних заходів. Але, наприклад, на Рівненській АЕС упродовж 30 років переопромінення персоналу не було. Звичайно ж, персонал АЕС, отримує незначні нормовані дози опромінення, але вони постійно контролюються. Працівник має персональний дозиметр і якщо той фіксує підвищену норму, то такого працівника виводять за межі зони іонізуючого випромінювання. Працівники станції також забезпечуються засобами індивідуального захисту.

Для захисту від іонізуючого випромінювання застосовують захисний одяг та взуття, наприклад, з так званих плівкових матеріалів. Його виготовляють з спеціальних типів пластику та резини, органічного скла. Для захисту рук використовують просвинцьовані гумові рукавички з гнучкими нарукавниками. Також при роботі в умовах високого рівня забруднення можуть використовуватися спеціальні пневмокостюми, що виготовляються з пластичних матеріалів. Вони передбачають примусову подачу повітря для комфортного і безпечного носіння захисту. Респіратори або протигази застосовуються для запобігання попадання неочищеної повітря в дихальні шляхи. Окуляри, які використовуються при контакті з ізотопами, повинні бути закритого типу, а їх скло містити свинець або фосфат вольфраму. Це забезпечить необхідний захист очам.

Існують норми радіаційної безпеки і вони узгоджені з Міністерством охорони здоров'я. Встановлена нормами межа дози опромінення персоналу АЕС не повинна перевищувати 20 мілізівертів на рік.

Для довідки: середньосвітова доза опромінення від природних джерел, накопичена на душу населення, дорівнює 2,4 мЗв/рік; доза випромінювання при флюорографії – 0,5 мЗв за процедуру (500 мкЗв за процедуру), комп'ютерна томографія – 11 мЗв за процедуру (11000 мкЗв за процедуру).

Нормальним вважається радіаційний фон – 0,15-0,19 мікросіверт на годину (мкЗв/год); трохи підвищений, але ще допустимий фон – 0,2-0,6 мкЗв/год; підвищений радіаційний фон – 0,61-1,2 мкЗв/год; а якщо радіаційний фон понад 1,21 мкЗв/год – це небезпечно для життя.

Щорік проводяться медичні огляди працівників, які виконують роботи в зоні суворого дозиметричного контролю атомної станції. Для решти це відбувається — раз на два роки. На АЕС є спеціальне виділене приміщення — медичний пункт, де медогляд проводять лікарі. За їх результатами робляться висновки і складається наказ по підприємству про те, чи може працівник за станом здоров'я продовжувати роботу з тими чи іншими виробничими факторами. У медпункті перед кожною зміною контролюють стан здоров'я оперативного персоналу, який працює на особливо небезпечних ділянках АЕС, та дають дозвіл до роботи. Тут також організовано цілодобове чергування медичного персоналу для надання першої допомоги, постійно чергує реанімобіль із сучасним обладнанням, за потреби він доправить постраждалого до медсанчастини для надання більш кваліфікованої допомоги.

При працевлаштуванні на АЕС спеціалістами лікарями проводяться первинні медогляди. Для майбутнього працівника висуваються певні вимоги, адже робочі місця атестовані, в картах умов праці вказані усі виробничі фактори, і лікарі вже вирішують, можна людині виконувати ту чи іншу роботу.

На атомній електростанції постійно здійснюється навчання персоналу з питань охорони праці. При прийманні на роботу, наприклад, проводиться первинне навчання, перед виконанням робіт, якщо вони пов'язані з підвищеною небезпекою, окрім інструктажів, кожен працівник повинен пройти спеціальне щорічне навчання за відповідними нормативними документами і скласти іспити. У навчально-тренувальному центрі формуються спеціальні групи за напрямками навчання. Проводиться навчання і в цехах з метою підтримки кваліфікації персоналу. Діє система інструктажів. Вступний та первинний — коли працівник щойно з'являється на АЕС та на робочому місці, повторний — раз на місяць або раз на три місяці залежно від того, які роботи виконуються працівником, його проводить безпосередньо керівник — начальник зміни, дільниці, майстер. Позачерговий інструктаж здійснюється, якщо трапляється нещасний випадок або інша подія, пов'язана з безпекою праці. Всі ці інструктажі повинні попередити можливе травмування персоналу при виконанні робіт. Сама ж система реакції на нещасні випадки відпрацьована до дрібниць, вона записана у відповідному положенні.

5.5 Заходи цивільного захисту на випадок аварій та надзвичайних ситуацій на АЕС

Для досягнення максимально можливого рівня безпеки АЕС при проектуванні необхідно передбачити такі заходи, які відповідають національним та міжнародним критеріям та цілям безпеки для:

- а) запобігання аварій з несприятливими наслідками,
- б) забезпечення того, щоб радіологічні наслідки будь-якої аварії були найнижчими.

На випадок аварій та надзвичайних ситуацій на АЕС розроблено «Систему аварійної готовності та реагування» (скорочено САР). САР це взаємопов'язаний комплекс технічних засобів і ресурсів, організаційних, технічних та радіаційно-гігієнічних заходів, здійснюваних для запобігання або зниження радіаційного впливу на персонал, населення та навколишнє середовище в разі ядерної або радіаційної аварії на АЕС, а також з метою забезпечення цивільного захисту.

САР є організаційною складовою єдиної державної системи цивільного захисту.

Основними завданнями САР є:

- 1) підтримання необхідного рівня аварійної готовності на АЕС;
- 2) реагування на аварії та надзвичайні ситуації на АЕС, включаючи реалізацію заходів щодо захисту персоналу, населення і навколишнього середовища;
- 3) реагування на аварії під час перевезень радіоактивних матеріалів.

На кожній станції є «Аварійний план». Цей аварійний план визначає аварійну організаційну структуру АЕС, розподіл відповідальності та обов'язків з аварійного реагування, склад засобів аварійного реагування, склад зовнішніх організацій, які беруть участь в аварійному реагуванні, визначає склад і порядок здійснення заходів аварійного реагування на майданчику АЕС та в санітарно-захисній зоні (СЗЗ).

Чорнобильська аварія, наявність в Україні Чорнобильської зони, інших АЕС, сховища відпрацьованого ядерного палива у Чорнобильській зоні, спонукає українців цікавитись питанням «мирного атома», заходами безпеки, поведінкою у надзвичайних ситуаціях, пов'язаних з наявністю радіоактивного забруднення, впливом радіоактивного випромінювання на живі організми та людину.

Державна служба України з надзвичайних ситуацій на своєму сайті розмістила такі рекомендації щодо дій у випадку раптового виникнення радіаційної небезпеки:

- ▲ З одержанням повідомлення про радіаційну небезпеку негайно укрийтеся в будинку. Стіни дерев'яного будинку послаблюють іонізуюче випромінювання в 2 рази, цегляного - у 10 разів; заглиблені укриття (підвали): з покриттям із дерева у 7 разів, з покриттям із цегли або бетону у 40 - 100 разів.
- ▲ Уникайте паніки. Слухайте повідомлення органів влади з питань надзвичайних ситуацій.
- ▲ Зменшить можливість проникнення радіаційних речовин в приміщення. Зачиніть вікна та двері. Загерметизуйте вентиляційні отвори, щілини на вікнах (дверях) і не підходьте до них без необхідності.
- ▲ Опинившись в укритті, зніміть верхній одяг і взуття, помістіть їх в пластиковий пакет і прийміть душ. Зробіть запас води в герметичних ємностях. Відкриті продукти загорніть в поліетиленову плівку і помістіть в холодильник (шафу).
- ▲ Проведіть йодну профілактику. Її проведення переслідує головну мету - не допустити ураження щитовидної залози. Це обумовлено тим, що в аварійних викидах АЕС міститься велика кількість радіоактивного йоду. Концентруючись в щитовидній залозі, радіоактивний йод опромінює її і викликає функціональні порушення.
- ▲ Уточніть місце початку евакуації. Попередьте сусідів, допоможіть дітям, інвалідам та людям похилого віку. Вони підлягають евакуації в першу чергу.
- ▲ Швидко зберіть необхідні документи, цінності, ліки, продукти, запас питної води, найпростіші засоби санітарної обробки та інші необхідні вам речі у герметичну валізу.
- ▲ По можливості негайно залишіть зону радіоактивного забруднення.
- ▲ Перед виходом з будинку вимкніть джерела електро-, водо- і газопостачання, візьміть підготовлені речі, одягніть протигаз (респіратор, ватно-марлеву пов'язку або підручні вироби з тканини,

змочені водою для підвищення їх фільтруючих властивостей), верхній одяг (плащ, пальто, накидка), гумові чоботи.

- ▲ З прибуттям на нове місце перебування, проведіть дезактивацію засобів захисту, одягу, взуття та санітарну обробку шкіри на спеціально обладнаному пункті або ж самостійно (зняти верхній одяг, ставши спиною проти вітру, витрясти його; повісити одяг на перекладину, віником або щіткою змести з нього радіоактивний пил та вимити водою); обробити відкриті ділянки шкіри водою або спеціальним розчином. Для обробки шкіри можна використовувати марлю чи просто рушники.
- ▲ Дізнайтеся у місцевих органів державної влади адреси організацій, що відповідають за надання допомоги потерпілому населенню.

Для попередження чи зменшення впливу на організм радіоактивних речовин необхідно:

- максимально обмежити перебування на відкритій території, при виході з приміщення використовувати підручні засоби індивідуального захисту (респіратор, пов'язка, плащ, гумові чоботи);
- під час перебування на відкритій території не роздягатися, не сідати на землю, не курити;
- перед тим, як увійти в приміщення, взуття помити водою або витерти вологою ганчіркою, одяг почистити вологою щіткою;
- суворо дотримуватись правил особистої гігієни;
- в усіх приміщеннях, підготовлених для перебування людей, щоденно проводити вологе прибирання, бажано з використанням миючих засобів;
- приймати їжу тільки у закритих приміщеннях, ретельно мити руки з милом перед вживанням їжі і полоскати рот 0,5-процентним розчином питної соди;
- воду вживати тільки з перевірених джерел, а продукти харчування – придбані через торговельну мережу;
- сільськогосподарські продукти індивідуальних господарств, особливо молоко, зелень, овочі та фрукти, вживати в їжу тільки за рекомендацією органів охорони здоров'я;

- не купатися у відкритих водоймах до перевірки ступеня їх радіоактивного забруднення;
- не збирати у лісі ягоди, гриби і квіти.

Дотримання цих рекомендацій допоможе уникнути захворювання променевою хворобою.

5.6 Висновки

Протягом уроку учні дізналися про стан атомної енергетики в Україні, обговорили важливість заходів безпеки у атомній енергетиці; визначили, які самі заходи з охорони праці є актуальними при роботі на АЕС; дізналися про заходи з цивільного захисту, що розроблені на випадок аварій на АЕС та рекомендовані дії населення у випадку раптового виникнення радіаційної небезпеки.

Контрольні питання:

1. Скільки атомних станцій є на території України?
2. Які заходи з охорони праці працівників існують на АЕС?
3. Які заходи з цивільної безпеки на випадок аварії на АЕС ви знаєте?
4. Як рекомендується діяти у випадку раптового виникнення радіаційної небезпеки?

6. Альтернативна енергетика

6.1 Тема, мета та завдання уроку

Тема уроку: Альтернативна енергетика.

Мета уроку: Визначити необхідність альтернативної енергетики на тлі сучасної енергетики.

Завдання уроку:

- обговорити визначення, чому деякі джерела енергії називають альтернативними;
- визначити, які саме джерела енергії відносяться до альтернативних;
- обґрунтувати переваги і недоліки відносно до класичних джерел енергії;
- визначити подальші шляхи розвитку альтернативної енергетики.

6.2 Вступ

Після того, як світ відчув всю небезпеку атомної енергетики та заразився ідеєю отримувати енергію з альтернативних джерел, таких, як сонячне світло і вітер, фінансування почало надходити в цьому напрямку.

Але що ж все-таки таке альтернативні джерела енергії? І чому вони називаються альтернативними? Чи так все безхмарно на горизонті власників диво-обладнання, здатного дарувати безкоштовну енергію? Ціла низка питань, пов'язаних з використанням альтернативних енергетичних технологій, все частіше виникає у простої людини, ми замислюємося про відмову від традиційних джерел енергії. Адже, здавалося б, як це здорово – повністю перейти на невичерпний природний ресурс і забути про вихлопи бензину під вікном, нескінченні рахунки і залежність від тисячі і однієї компанії, що присилають ці рахунки! Однак в будь-якій серйозній справі існують свої підводні камені, і добре б виявити їх заздалегідь, до того, як відправитися в плавання.

Альтернативними джерелами енергії прийнято називати способи отримання тепла і електрики за допомогою невичерпних природних ресурсів – сонячних променів, вітру та інших дарів природи.

6.3 Види і переваги альтернативної енергетики

Одним з найбільш поширених способів використання природної енергії є **сонячні батареї**, які поповнюють свій заряд від сонячних променів, що на них потрапляють (рис. 6.1, а). Заповзятливі представники людської раси навчилися вбудовувати такі батареї не тільки в електроприлади, а й в черепицю, фонтани, портативні зарядні пристрої, дахи автомобілів, дорожнє покриття і навіть літальні апарати. Одна з головних переваг сонячної енергії – її екологічна чистота. Правда, сполуки кремнію можуть наносити невелику шкоду навколишньому середовищу, проте в порівнянні з наслідками спалювання природного палива така шкода - крапля в морі.



а)

б)

в)

Рисунок 6.1 – Зовнішній вигляд сонячної (а), геотермальної (б) та вітряної (в) електростанцій

Напівпровідникові сонячні батареї мають ще одну суттєву перевагу – довговічність. І це при тому, що догляд за ними не вимагає від персоналу особливо великих знань. Внаслідок цього сонячні батареї стають все більш популярними в промисловості та побуті.

Кілька квадратних метрів сонячних батарей цілком можуть вирішити всі енергетичні проблеми невеликого селища. У країнах з великою кількістю сонячних днів - південній частині США, Іспанії, Індії, Саудівської Аравії та інших - давно вже діють сонячні електростанції. Деякі з них досягають досить значною потужності.

Сьогодні вже розробляються проекти будівництва сонячних електростанцій за межами атмосфери – там, де сонячні промені не втрачають своєї енергії. Уловлене на земній орбіті випромінювання пропонується переводити в інший тип енергії - мікрохвилі - і потім вже відправляти на

Землю. Все це виглядає фантастично, проте сучасна технологія дозволяє здійснити такий проєкт в найближчому майбутньому.

Геотермальна енергетика – спосіб отримання електроенергії шляхом перетворення внутрішнього тепла Землі (енергії гарячих парових джерел) в електричну енергію (рис. 6.1, б). Цей спосіб отримання електроенергії заснований на факті, що температура кори нашої планети з глибиною зростає, і на рівні 2-3 км від поверхні Землі перевищує 100°C. Існує кілька схем отримання електроенергії на геотермальній електростанції.

Пряма схема: природний пар направляється по трубах в турбіни, з'єднані з електрогенераторами.

Непряма схема: пар попередньо (до того, як потрапляє в турбіни) очищають від газів, що викликають руйнування труб.

Вартість «палива» такої електростанції визначається витратами на продуктивні свердловини і систему збору пара та є відносно невисокою. Вартість самої електростанції при цьому невелика, так як вона не має топки, котельної установки і димової труби. До недоліків геотермальних електроустановок відноситься можливість локального осідання ґрунтів і пробудження сейсмічної активності. А гази, що виходять із під землі, можуть містити отруйні речовини.

Вітроенергетика – це галузь енергетики, що спеціалізується на використанні енергії вітру (кінетичної енергії повітряних мас в атмосфері). Вітряна електростанція – установка, що перетворює кінетичну енергію вітру в електричну енергію (рис. 6.1, в). Складається вона з вітродвигуна, генератора електричного струму, автоматичного пристрою управління роботою вітродвигуна і генератора, споруд для їх установки та обслуговування. Для отримання енергії вітру застосовують різні конструкції: багатолопатеву «ромашки»; гвинти на зразок літакових пропелерів; вертикальні ротори та ін. Виробництво вітряних електростанцій дуже дешеве, але їх потужність мала, і їх робота залежить від погоди. До того ж вони дуже шумні, тому великі вітряні електростанції навіть доводиться на ніч відключати.

Хвильова енергетика – спосіб отримання електричної енергії шляхом перетворення потенційної енергії хвиль в кінетичну енергію пульсацій та перетворення пульсацій в односпрямоване зусилля, що обертає вал електрогенератора. У порівнянні з вітровою та сонячною енергією

енергія хвиль має набагато більшу питому потужність. Так, середня потужність хвилювання морів і океанів, як правило, перевищує 15 кВт/м. При висоті хвиль в 2 м потужність досягає 80 кВт/м. Тобто, при освоєнні поверхні океанів не може бути браку енергії. У механічну і електричну енергію можна перетворити тільки частину потужності хвилювання океану, але для води коефіцієнт перетворення вище, ніж для повітря – до 85%.

Приливна енергетика, як і інші види альтернативної енергетики, є поновлюваним джерелом енергії. Для вироблення електроенергії електростанції такого типу використовують енергію припливу. Для спорудження найпростішої приливної електростанції потрібен басейн - перекрита греблею затока або гирло річки. У греблі є водопропускні отвори і встановлені гідротурбіни, які обертають генератор. Під час припливу вода надходить в басейн. Коли рівні води в басейні і морі зрівнюються, затвори водопропускних отворів закриваються. З настанням відпливу рівень води в морі знижується, і, коли тиск стає достатнім, турбіни і з'єднані з ним електрогенератори починають працювати, а вода з басейну поступово йде. Вважається економічно доцільним будівництво приливних електростанцій в районах з приливними коливаннями рівня моря не менше 4 м. Недолік приливних електростанцій в тому, що вони будуються тільки на узбережжі морів і океанів, до того ж вони розвивають не дуже велику потужність, та й припливи бувають лише два рази на добу.

Біомасова енергетика. При гнитті біомаси (гній, померлі організми, рослини) виділяється біогаз з високим вмістом метану, який і використовується для обігріву, вироблення електроенергії та ін. Існують підприємства (свинарники і корівники та ін.), які самі забезпечують себе електроенергією та теплом за рахунок того, що мають кілька великих "чанів", куди скидають великі маси гною від тварин. У цих герметичних баках гній гниє, а газ, що виділяється, йде на потреби ферми. Ще однією перевагою цього виду енергетики є те, що в результаті використання вологого гною для отримання енергії, від гною залишається сухий залишок, який є чудовим добривом для полів. Також в якості біопалива можуть бути використані швидкозростаючі водорості і деякі види органічних відходів (стебла кукурудзи, очерету та ін.).

Такі альтернативні джерела мають ряд переваг в порівнянні з традиційними способами виробництва енергії:

- екологічність; при використанні обладнання відсутні будь-які викиди шкідливих речовин, що забруднюють навколишнє середовище;
- безшумність (даний пункт не відноситься до вітряків);
- можливість установки в віддалених точках планети, що не оснащених лініями електропередач;
- безкоштовна енергія.

6.4 Недоліки альтернативної енергетики

Так, дійсно, якщо альтернативні джерела енергії настільки гарні, чому вони все ще не використовуються повсюдно? Ось і прийшов час повернутися до «підводних каменів»: на жаль, і такі, здавалося б, універсальні пристрої як вітряки та сонячні батареї мають свої недоліки.

Залежність від погодних умов. Першочерговою вимогою до джерела енергії є, звичайно ж, надійність і сталість. І саме ці дві якості є слабкими місцями в роботі альтернативних технологій. Встановлюючи на даху сонячні батареї, призначені для постачання електроенергії до цілого будинку, власник, по суті, віддається на милість природи: якщо погода буде сонячна – в будинку буде електрика. Якщо вдасться низка похмурих днів, сім'я ризикує залишитися без телевізора і холодильника. Також вироблення енергії значно знижується вночі. Ці особливості роблять сонячні батареї вдалим рішенням в країнах з теплим кліматом, де сонце світить яскраво дванадцять місяців на рік, а вітряки в краях, де переважає вітряна погода.

Наприклад, станція з вітряками виправдає себе, якщо середньорічна швидкість вітру в даній місцевості перевищує 4-4,5 м/с. У випадках же з хвильовими та приливними електростанціями доводиться в прямому сенсі чекати «з моря погоди», і розташовувати обладнання в безпосередній близькості до берега.

Низький ККД. Поряд з перевагами альтернативної енергетики, істотним її недоліком є порівняно низький рівень вироблення енергії.

Наприклад, для забезпечення будинку електрикою в обсязі 200-300 Вт потрібна площа батарей не менше 20 м². Такий низький ККД не дозволяє поки перетворити сонячні батареї в основне джерело живлення автомобіля, залишаючи за ними роль всього лише додаткового засобу постачання двигуна енергією. Та й у вечірній час на такому транспорті дале-

ко не вийдеш. У випадках з хвильової і приливної енергетикою низька ефективність безпосередньо пов'язана з тією ж залежністю від погодних умов: припливи в океані і на морі бувають лише двічі на добу.

Формальності. Оформлення нескінченних паперів і дозволів – це те, чого намагається уникнути кожен власник приватної електростанції, який вкладає чималі кошти у власний проект. Однак рішення встановити особисту електростанцію і придбання необхідного обладнання ще недостатньо для того, щоб почати безперешкодно користуватися дарами природи.

Шум і запах. Подібні недоліки відносяться, звичайно ж, далеко не до кожного виду альтернативних джерел енергії, але в окремо взятих випадках вони мають місце бути, і ігнорувати їх не можна.

Шум – один із суттєвих недоліків вітряних електростанцій. Сила шумового ефекту на відстані 20 метрів становить в середньому 34-45 дБ. Ближче – голосніше. Радість володіння власною електростанцією буде затьмарена безперервним шумом, що доноситься з вікон, та й сусіди навряд чи оцінять новинку. Тому розташовувати вітряки слід в видаленні від житла.

Запах – невід'ємна частина біомасової енергетики, заснованої на розкладанні гною, відмерлих рослин і інших видів біомас. Незважаючи на використання герметичних контейнерів, запах на такій електростанції присутній завжди, тому біомасові джерела енергії використовуються виключно для обслуговування корівників і фермерських господарств, перетворюючи робочий процес в безвідходне виробництво.

Дорожнеча оснащення і обслуговування. Незважаючи на те, що використання природних ресурсів дозволяє заощадити значні суми на виробленні енергії, виробництво самого обладнання – процес досить трудомісткий і дуже недешевий. Головною складовою сонячних батарей є фотоеlement, розроблений на основі кремнію. І хоча сам по собі кремній не представляє особливої цінності, його очищення і перетворення обходиться дорого.

Установка вітряних електростанцій також вимагає серйозних вкладень, і сума в значній мірі залежить від зовнішніх умов. Недешево обійдеться і технічне обслуговування альтернативних джерел енергії –

плановий огляд, ремонт і коригування положення в залежності від пори року.

6.5 Перспективи розвитку

З огляду на всі передбачувані витрати, використання альтернативного джерела енергії в приватних володіннях нерідко виявляється нерентабельним і представляє економічну вигоду лише для великих підприємств. Але це аж ніяк не означає, що власникам будинків слід відмовитися від ідеї використання альтернативних джерел енергії. Адже прогрес не стоїть на місці - вже винайдені полімерні сонячні батареї, виробництво яких коштує в рази дешевше, ніж виготовлення традиційних кремнієвих. А поява на ринку нових, більш економічних, моделей генераторів і додаткового устаткування, зміна тарифів на електроенергію дає привід думати, що вже в недалекому майбутньому дана практика все ж отримає загальне визнання.

Контрольні питання:

1. Чому сонячна енергетика називається альтернативною?
2. Назвіть види альтернативних джерел енергії.
3. Чому сонячна енергетика є найбільш надійною?
4. Які є переваги у різних видів альтернативних джерел?
5. Обміркуйте обмеження у використанні різних видів альтернативних джерел енергії.
6. Які знання потрібно мати, щоб розуміти принципи роботи розглянутих джерел енергії?
7. Які, на Вашу думку, подальші перспективи розвитку альтернативної енергетики в Україні та світі?

7. Історія науки та техніки

7.1. Тема, мета та завдання уроку

Тема: «Чорнобиль – життєвий урок для кількох поколінь!»

Мета та завдання: використовуючи приклад ліквідації Чорнобильської техногенної катастрофи формувати в учнів уміння неупереджено та критично мислити, працювати з джерелами інформації, встановлювати причинно-наслідкові та міждисциплінарні зв'язки, виховувати розуміння необхідності вивчати «уроки історії» для вирішення проблем майбутнього, небайдужості та патріотизму.

Для проведення уроку необхідно обладнання: ПК, проектор, екран, мультимедійні колонки.

7.2. Історичні аспекти: Розвиток атомної енергетики та будівництво ЧАЕС

Чорнобиль – невеличке містечко, що знаходиться поряд з річкою Прип'ять в Київській області. Для більшості українців слово «Чорнобиль», в першу чергу, значить катастрофа, і тільки потім населений пункт. Нині місто має статус «без населення», хоча в ньому і проживає близько півтори тисячі мешканців – переважно робітників служб зони та працівників, що обслуговують ЧАЕС та проект NOVARKA (новий саркофаг - конфаймент). На заході від Чорнобиля знаходиться місто Прип'ять.

Однак повернемося у минуле.

3 вересня 1948 р. в США вдалося вперше виробити електроенергію на графітовому реакторі X-10. Того ж року за пропозицією І.В. Курчатова (який, до речі, одночасно займався створенням атомної бомби), в Радянському союзі почали активно проводити дослідження керованих ядерних реакцій для вироблення електроенергії. Вже в травні 1950 р. в Калуській області розпочалося будівництво Обнінської АЕС. Під спорудження прийняли проект уран-графітового реактора каналного типу з трубчастими тепловидільними елементами (ТВЕЛами) з теплозняттям некиплячої води під тиском 100 атмосфер (АМ-1). При виборі типу реактора враховували досвід, який був накопичений при створенні і експлуатації промислових реакторів, що виробляли плутоній. Техніка добування теплової та електричної енергії за рахунок поділу ядерного палива знач-

ною мірою використала техніку звичайної теплової енергетики [1]. 26 червня 1954 року відбувся запуск першої в світі атомної електростанції.

Протягом десятиліття було побудовано ще кілька атомних електростанцій, які використовували два типи реакторів РБМК (каналний реактор великої потужності) та ВВЕР (корпусна конструкція). При цьому зазвичай перевага віддавалася саме першому типу. На перший погляд він здавався кращим за всіма ознаками. Він не потребував корпусу, що значно знижувало витрати на будівництво. Міг легко перезавантажуватися, мав широкі можливості контролю вузлів активної зони, використовував низько збагачене паливо тощо. Разом з тим велика кількість трубопроводів та різноманітних підсистем потребувала значної кількості кваліфікованого персоналу та значно більшої уваги щодо контролю за вузлами. Окрім того, такий тип реактору використовувався лише в Радянському Союзі, а отже досвіду використання було значно менше. В інших країнах світу корпус (конфайнмент) був обов'язковою вимогою, оскільки значно зменшував ризики масштабної аварії. Урешті решт, на четвертому енергоблоці також довелося робити конфайнмент, але уже за зовсім інших умов, а платою стали численні людські життя.

7.3 Хроніка подій: від будівництва до катастрофи

У 1966 році було прийнято рішення про введення в дію енергетичних потужностей у розмірі 11,9 млн кВт. Частина цієї потужності – 8 млн кВт – мали генерувати атомні електростанції. При виборі місця будівництва АЕС керувалися величезною кількістю факторів, було обстежено 16 можливих варіантів будівництва у Київській, Вінницькій і Житомирській областях. Урешті решт відібрали дві альтернативи: біля села Ладижини Вінницькій області та села Копачі Київській області. Саме в останньому і почалося будівництво ЧАЕС. Чорнобильська атомна електростанція стала першою АЕС на території сучасної України, перший енергоблок якої було введено в дію 26 вересня 1977 року. Останній енергоблок Чорнобильської АЕС — енергоблок №4 — виведений на проектну потужність 1000 МВт 28 березня 1984 року.

Весь цей час паралельно з будівництвом електростанції, поряд йшла розбудова міста де мали жити енергетики, що будуть працювати на АЕС – Прип'ять.

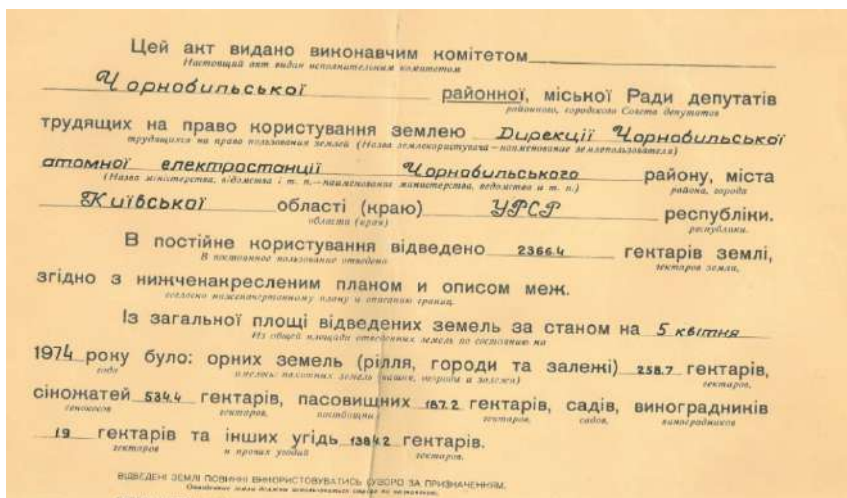


Рисунок 7.1 – Акт передачі земельної ділянки дирекції Чернобильської державної районної електростанції (ДРЕС) згідно Наказу Міністра енергетики та електрифікації СРСР від 16 грудня 1969 року.



Рисунок 7.2 – Центральний зал енергоблоку

Аварія на енергоблоці № 4 Чернобильської АЕС сталася 26 квітня 1986 року в 01 год. 23 хв. 40 с. в ході проведення проектних випробувань однієї з систем забезпечення безпеки. Дана система безпеки передбачала використання механічної енергії обертання турбогенераторів (так званого вибігу), що зупиняються, для вироблення електроенергії в умовах накладення двох аварійних ситуацій.

Ситуація №1 — повна втрата електропостачання АЕС, зокрема головних циркуляційних насосів і насосів системи аварійного охолодження реактора;

Ситуація №2 — максимальна проектна аварія, яка в проекті розглядається як розрив трубопроводу великого діаметра циркуляційного контура реактора.

Проектом передбачалося, що при відключенні зовнішнього електроживлення, електроенергія, що виробляється турбогенераторами за рахунок залишкового обертання, подається для запусків насосів, що входять в систему аварійного охолодження реактора. Це забезпечило б гарантоване охолодження реактора.

Окрім Чорнобильської, на жодній АЕС з реакторами РВПК-1000 після введення їх в експлуатацію, подібні проектні випробування не проводилися.

Випробування на 4-у енергоблоці було заплановано провести вдень 25 квітня 1986 року при тепловій потужності реактора 700 мВт, після чого реактор планувалося зупинити для проведення планових ремонтних робіт. Таким чином, випробування повинні були проводитися в режимі зниженої потужності, для якого характерні підвищена, щодо номінального, витрата теплоносія через реактор, незначний недогрів теплоносіїв до температури кипіння на вході в активну зону і мінімальний паровміст. Ці чинники мали прямий вплив на масштаб аварії.

О 1 годині 23 хвилини 04 секунди почалися випробування і чотири головні циркуляційні насоси почали працювати від залишкового обертання турбогенератора, у зв'язку з чим витрата води почала зменшуватися, а вміст пари рости.



Рисунок 7.3 – Блочний щит управління енергоблоку

О 1 годині 23 хвилини 43 секунди почалося стрімке зростання потужності, після чого пролунали вибухи. Реактор було зруйновано, а з його розвалу в атмосферу поступали величезні об'єми радіоактивних речовин. На енергоблоці № 4 почалася пожежа.

Ліквідація наслідків аварії почалася одразу у ніч аварії. Впродовж декількох годин після руйнування 4-го енергоблока пожежним і персоналу ЧАЕС вдалося ліквідувати численні вогнища займань, що запобігло загрозі поширення пожежі на інші енергоблоки. Відразу після аварії були зупинені спочатку 3-й енергоблок, що знаходиться у одній будівлі з 4-м, а потім 1-й і 2-й енергоблоки.

27 квітня почалася засипка захисних матеріалів з гелікоптерів у розвал 4-го енергоблоку. Скинуті за неповні 2 тижні матеріали накрили центральний зал шаром завтовшки від 1 до 15 метрів, тим самим ізолювавши реактор від довкілля. Одночасно з цим проводилися заходи по видаленню води з басейна-барбатора і охолодженню активної зони реактора, поданням у неї рідкого азоту. Вода з басейна-барбатора була видалена 6 травня. До цього часу експерти видали висновок про неможливість виникнення у зруйнованому реакторі ланцюгової реакції, що самопідтримується, а викид радіоактивних речовин в атмосферу скоротився в декілька тисяч разів.



Рисунок 7.4 – Стабілізація об'єкта «Укриття» (посилення та ремонт)

За міжнародною шкалою оцінок подій на АЕС аварія на 4-му енергоблоці Чорнобильської АЕС кваліфікується як аварія сьомого - найвищого рівня. 27 квітня було повністю евакуйовано місто Прип'ять, що розташовано у 3 км від ЧАЕС. 2 травня було прийнято рішення про евакуацію населення з 30-км зони ЧАЕС та інших населених пунктів, що піддалися радіоактивному забрудненню. Згодом, до кінця 1986 року, із 188 населених пунктів (включаючи Прип'ять) було відселено близько 116 тисяч осіб.

Одразу ж після аварії постало питання про довгострокову консервацію 4-го енергоблоку шляхом будівництва споруди, яка б обмежила вихід радіоактивних речовин та іонізуючого опромінення за межі зруйнованого енергоблоку.

29 травня 1986 року для «поховання 4-го енергоблоку ЧАЕС та споруд, що до нього відносяться» було прийнято рішення про будівництво об'єкту під назвою «Укриття 4-го блоку ЧАЕС». Цікаво, що відносно уцілілі конструкції енергоблоку № 4 створюють опорний контур, на який спираються несучі елементи покриття над реакторним блоком і деаераторною етажеркою. Завдяки такому поєднанню була створена унікальна споруда, будівельні конструкції якої виконують надзвичайно важливу функцію фізичного бар'єру на шляхах виходу радіоактивних речовин та іонізуючого випромінювання у навколишнє середовище. Його спорудили у рекордно короткий термін — 206 діб.

Будівництво об'єкта «Укриття» у надзвичайно складній радіаційній обстановці вимагало розробки та впровадження таких організаційних і технологічних рішень, які б максимально забезпечували радіаційний захист будівельного персоналу.

Основні заходи з радіаційного захисту персоналу полягали у здійсненні радіаційного обстеження зон проведення робіт, використанні різноманітних засобів екранування та застосуванні дистанційних технологій виконання робіт у найбільш радіаційно небезпечних умовах.

У процесі будівництва об'єкта «Укриття» було укладено близько 345 тисяч кубічних метрів бетону та змонтовано 7 тисяч тон металевих конструкцій. Крім будівельно-монтажних робіт був виконаний значний обсяг робіт із створення необхідних систем для безпечної експлуатації



Рисунок 7.5 – Ліквідатори ЧАЕС під час будівництва «Укриття»

об'єкта «Укриття» (вентиляція, енергопостачання, система пожежогасіння, системи контролю та інші)

30 листопада 1986 року будівництво «Укриття» було завершено, хоча умови за яких будувався конфайнмент змушували до прийняття компромісних рішень. Частина будівельних конструкцій не відповідали вимогам нормативно-технічних документів з безпеки структурної цілісності та надійності і мають невизначений строк експлуатації. У зв'язку з цим у 2004 році розпочалося будівництво «Нового Чорнобильського саркофагу» [2].



Рисунок 7.6 – Сучасний вигляд ЧАЕС

7.4 Спогади ліквідаторів

Чорнобильська катастрофа стала викликом для всієї країни, до сотень та тисяч людей, що ліквідували її наслідки. Першими удар атомної стихії на себе прийняли працівники воєнізованої пожежної частини атомної станції. Було зареєстровано 134 випадки гострої променевої хвороби

серед людей, що виконували аварійні роботи на четвертому енергоблоці. Лише над будівництвом об'єкту «Укриття» працювало близько 90 000 осіб. А ще була тридцяти кілометрова зона, на якій необхідно було ліквідувати наслідки радіоактивного пилу.

Величезні території виявилися забруднені радіонуклідами. Вибух реактора, пожежа, що прослідувала за ним, і процеси, що відбувалися в опромінену паливі, зумовили велетенський викид радіоактивності. Територія, прилегла до зруйнованого енергоблока, будівлі і споруди поруч були забруднені уламками тепловиділяючих елементів, графітової кладки, частинами конструкцій реакторної установки. Біля 4-го енергоблока потужність дози гамма-випромінювання досягала 2000 Р/год, а усередині доходила до 50 000 Р/год. Аерозолі Чорнобильського походження були виявлені в Японії і Канаді. Найбільш "брудною" стала територія, прилегла до ЧАЕС, так звана "зона відчуження", основна ж кількість (приблизно 95%) ядерного палива у вигляді фрагментів активної зони, лавоподібних паливовмісних матеріалів, паливного пилу залишилося в межах спорудженого в 1986 році об'єкта "Укриття".

Ліквідатори працювали в небезпечній зоні позмінно: ті, хто набрав максимально допустиму дозу радіації, виїжджали, а на їх місце приїжджали інші. Основна частина робіт була виконана в 1986—87 роках, в них взяли участь приблизно 240 000 чоловік. Загальна кількість ліквідаторів за всі роки приблизно 600 000 чоловік [3].

Тож не викликає жодного здивування факт, що чорнобильська катастрофа знайшла відображення в численних спогадах ліквідаторів. Тут ми наведемо лише деякі із них. «... з боку станції пролунав страшний вибух. Він був настільки потужним, що затремтіла наша дев'ятиповерхівка ... Переїжджаючи залізничний міст на "підступах" до АЕС, ми потрапили в туман. Він був настільки густий, що навіть капота службової "Волги" було не видно. ... Підїжджаючи до ЧАЕС, ми побачили, що пожежна станція абсолютно порожня. Диспетчер теж не знав, що сталося, але були задіяні всі пожежні машини... Ми зупинились на 30-метровій відстані від самої атомної станції. Те видовище змусило здригнутися: від четвертого енергоблоку сходила багряна заграва, а по стінках стівав бітум. Бачимо — одну людину на ношах до машини занесли, іншого, третього ведуть під руки, він страшно кашляє, його рве. ... Я був першим, хто доповів про ка-

тастрофу по лінії міліції, однак мені повірили не відразу. На тому кінці дроту, вислухавши про вибух на атомній станції, сказали почекати до ранку, мовляв начальство серед ночі не варто будити» [4], — Василь Кучеренко, начальник Прип'ятського управління міліції.

«У день аварії я прокинувся аж о 9 ранку, бо напередодні повернувся лише о першій ночі після вечірньої зміни. ... якраз дружина повернулася з базару, і сказала, що на станції якась аварія, загинули люди, був вибух, і що на базарі заборонили продавати зелень і капусту. Я сказав, що такого не може бути, і що аварія неможлива. Подивився на вулицю, там вже були поливальні машини, які мили асфальт не водою, а піною. ... У 1982 році у нас уже була невелика аварія на першому блоці ... Тому я і цього разу не подумав, що це є масштабна катастрофа ... було видно Чорнобильську станцію, четвертий реактор, але над ним я не побачив центрального залу і даху, залишилися лише одна стінка. Над цими руїнами піднімався такий сіруватий димок. Крім того, зі станції їхали автобуси, везли персонал, але персонал був не у цивільному одязі, як зазвичай, а вже у захисному одязі та респіраторах. І от тоді я зрозумів, що відбулося щось страшне» [5], — начальник зміни на ЧАЕС Юрій Андреев.

На найнебезпечніших роботах, що були пов'язані з станцією, використовувався певний алгоритм дій [6]. Зокрема, під час робіт з дезактивації третього енергоблоку діяли за наступною схемою: «Від критих автомобілів, у яких нас перевозили, перебігали в адміністративно-побутовий корпус, переодягалися в спецвіску та захисний комплект, на руки — вовняні рукавички, поверх них — гумові (пізніше вовняні закінчилися, залишилися лише гумові). ... Перед виходом на об'єкт нам доводили об'єм роботи і відводили час — як правило 15 хвилин, за який цю роботу слід виконати. Щоразу заміряли дозу опромінення, а на час роботи видавали так звані накопичувані дози (один на кілька чоловік). Після закінчення роботи дозиметристи заміряли фон одягу, душ, знову дозиметрист, якщо “зашкалює” — знову душ, одягання в чистий одяг. Кожен, хто набрав 10 рентгенів, повинен був писати рапорт, щоб йому підготували заміну зі своєї області. Більше встановленої дози (25 рентген) набирати не дозволялося, а додому не відпускали допоки не приїде заміна» [7]; «Займалися дезактивацією дороги, захороненням, працюючи на 3 і 4 блоці ЧАЕС. Коли гасили підвали, все затопило радіаційною водою. Ми все це

дезактивували, знімали шар бетону і обшивали свинцем. Працювали на станції по 30 хвилин, більше не дозволялося, бо набиралася доза опромінення. По мірі виконання робіт на одному об'єкті, ми переходили на інші. Робили дорогу від станції до кордону з 10 кілометровою зоною Чорнобиля» [8].

Одним з видів роботи під час таких чергувань, була робота на могильниках: «Ми повністю закопали два села ... люди, які населяли ліквідовані села, плакали та з важкістю на серці спостерігали за руйнуванням своїх рідних домівок. Багато хто з жителів пробував прорватися до своєї хати та бодай щось забрати зі своїх речей. Але солдати, які оточували вражені радіацією села, були неблаганними, бо опромінені речі могли завдати ще більшої шкоди населенню» [9].

Робота на могильниках в іншому спогаді відбувалась наступним чином: «Солдати в 30 кілометровій забрудненій зоні знімали верхній шар землі лопатами, тракторами, екскаваторами, загрузаючи її й вивозячи на могильники. Могильники — це великі котловани, обкладені бетоном для того, щоб радіоактивний бруд не проникав у підземні води. Після заповнення могильників, їх ретельно загортали. Були також могильники, призначені для техніки. Літаки, вертольоти, автомобілі, трактори, які перевищували рівень радіації вивозили на буксирі» [6].

7.5 Феномен чорнобильської катастрофи в культурі та мистецтві

Чорнобильська катастрофа отримала суттєве відображення в масовій культурі та мистецтві. І хоча нині на слуху лише однойменний серіал НВО, фільмографія ЧАЕС та міста-привида Прип'ять не обмежується лише ним, та кількома документальними стрічками.

Зокрема, варто виділити документальні фільм: «Дзвін Чорнобилю» (1986) — перший повнометражний фільм, який було занесено до книги рекордів Гінеса, як фільм, котрий було показано у всіх країнах світу, де є телебачення. «Чорнобиль, хроніки мовчання» (2006) — в зйомках якого взяли участь понад 50 ліквідаторів. Серед художніх стрічок заслуговують на увагу: «Аврора» (2008), «В суботу» (2011), «Метелики» (2013) і, звичайно, «Чорнобиль» (2019). Вартує уваги фантастична стрічка Андрія Тарковського «Сталкер» (1979), знята за мотивами повісті братів Стругаць-

ких «Пікнік на узбіччі» (1979). Чорнобильська Зона відчуження знайшла значне відображення у літературі (нижче наведено короткий список поси-лань) та сюжетах відео-ігор, наприклад, Counter-Strike: Global Offensive (de_cahce), трилогії S.T.A.L.K.E.R., Call of Duty 4: Modern Warfare тощо. Звичайно, ця подія не оминула і народний фольклор. Типовими стали чо-тиривірші як то:

Прискорення – важливий фактор,
Жаль, не витримав реактор.
І тепер наш мирний атом
Вся Європа криє матом!

Я дякую Партії рідній,
За її доброту та ласку.
За мирний атом в країні,
За сім рентгенів на Пасху.

Контрольні питання:

1. Коли було побудовано першу атомну електростанцію?
2. Які два основні типи реакторів використовувалися на вітчизняних АЕС?
3. Коли трапилася аварія на Чорнобильській АЕС?
4. Які наслідки Чорнобильської катастрофи?

Список джерел інформації та рекомендованої літератури

Розділ 1. Ядерна фізика

[1] Meitner L. Disintegration of uranium by neutrons: A new type of nuclear reaction / L. Meitner, O.R. Frisch // *Nature*, 1939. – v.143. – p.239-240.

[2] Hooshyar M.A, Nuclear Fission and Cluster Radioactivity: An Energy-Density Functional Approach / M.A. Hooshyar, I. Reichstein, F.B. Malik. – New York: Springer, 2005.

[3] Foster A. R. Basic Nuclear Engineering / A.R. Foster., R.L. Wright. – Allyn and Bacon, Inc., 1983.

[4] Lamarsh J. R., Introduction to Nuclear Engineering. / J.R. Lamarsh. – 2nd edition. – Addison-Wesley Publishing Company, 1983.

[5] Martin A. An Introduction to Radiation Protection / A. Martin, S.A. Harbison. – Second Edition. – Chapman and Hall, 1979.

[6] United States Nuclear Regulatory Commission, Nuclear Reactor Concepts, Technical Training Center, (1993).

[7] Masterson R.E. Introduction to Nuclear Reactor Physics / R.E. Masterson. – First edition. – CRC Press, 2017. – 1107 p.

8. Masterson R.E. Nuclear Engineering Fundamentals: A practical perspective / R.E. Masterson. – CRC Press, 2017. – 961 p.

9. Левин В.Е. Ядерная физика и ядерные реакторы / В.Е. Левин. – 4-е изд. — М.: Атомиздат, 1979. — 288 с.

10. Фрауэнфельдер Г. Субатомная физика / Г. Фрауэнфельдер, Э. Хенли – М. : Мир, 1979. — 736 с.

11. SCALE: A Comprehensive Modelling and Simulation Suite for Nuclear Safety Analysis and Design. Available from Radiation Safety Information Computational Center at Oak Ridge National Laboratory as CCC-785. Oak Ridge, TN: Oak Ridge National Laboratory, June, 2001. Version 6.1. ORNL/TM-2005/39

12. JEF Report 14, OECD/Nuclear Energy Agency (1994).

Розділ 2. Енергетика

1. Винников А.В. Введение в специальность. Электроэнергетика : учеб. пособие / А.В. Винников [и др.]. – 3е изд. – Краснодар: КубГАУ, 2017. – 310 с.

2. Касилов В.И. Тепловые и атомные электрические станции : курс лекций / В.И. Касилов [и др.] – Харьков: Мадрид, 2017. – 104 с.

3. Дятлов А.С. Чернобыль. Как это было / А.С. Дятлов. – М.: Научтехлитиздат, 2003. – 191 с.

Розділ 3. Хімія

[1] Орлов Д.С. Гумусовые кислоты почв и общая теория гумификации : монография / Д.С. Орлов. – М.: Изд-во МГУ, 1990. – 325 с.

2. Геохимическая роль гумусовых кислот в миграции элементов / Г.М. Варшал, Т.К. Велюханова, И.Я. Кошчева // Гуминовые вещества в биосфере / под ред. Д.С. Орлова. – М.: Наука, 1993. – 238 с.

3. Левинский Б.В. Всё о гуматах / Б.В. Левинский. – Иркутск, 2000.

4. Зеленая химия в России : Сб.статей / Под ред В.В. Луниной, П. Тундо, Е.С. Локтевой. – М.: Изд-во Моск. ун-та, 2004. – 230 с.

Розділ 4. Екологія

1. Чернобыль. Наслідки для довкілля, здоров'я та прав людини. Постійний народний трибунал. Відень, Австрія 12-15 квітня 1996р. – К : ІВЦ "Енергія майбутнього століття" , 1999. – 231с.

2. Карти радіаційного забруднення зони відчуження [Електронний ресурс] <http://dazv.gov.ua/dostup-do-publichoji-informatsiji/karty-radiatsiinoho-zabrudnennia-zony-vidchuzhennia.html>

3. Річниця Чорнобильської катастрофи: який радіаційний стан в Україні у 2018 році [Електронний ресурс] <https://racurs.ua/ua/n104246-richnycya-chornobylskoyi-katastrofy-yakyy-radiaciyyny-stand-v-ukrayini-zaraz-karta-video.html>

4. Відео [Електронний ресурс] <https://1plus1.video/unian-novosti/2018-god/aprel-32-roki-pislya-katastrofi-hroniki-chornobilya>

5. Відео [Електронний ресурс] <https://www.youtube.com/watch?v=2hrqwpKfloY>

6. Офіційний сайт Чорнобиль Центр [Електронний ресурс] <http://www.chornobyl.net/>

7. Чорнобиль в інфографіці [Електронний ресурс] https://24tv.ua/chornobil_v_infografitsi_yak_stalasya_avariya_i_shho_bude_v_zoni_vidchuzhennya_n810757

8. Гродзинський Д.М. Радіобіологія: підручник / Д. М. Гродзинський. – К.: Либідь, 2000. – 448 с.

9. Константинов М.П. Радіаційна безпека: навч. посібник / М.П. Константинов, О.А. Журбенко. – Суми: Університетська книга, 2003. – 151 с.

Розділ 5. Охорона праці та цивільний захист

1. Конституція України : офіц. текст. Київ : КМ, 2013. – 96 с.

2. Про охорону праці : Закон України від 14.10.1992 р. № 2694-ХІІ. [Електронний ресурс] [Редакція від 20.01.2018]. – Відомості Верховної

Ради України, 1992. – № 49. – ст.668. – Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2694-12> . – Дата звернення: 11.09.2019.

3. Березуцький В.В. Основи охорони праці: навч. посібник / За ред. проф. В.В. Березуцького. – Харків: Факт. – 2005. – 480 с.

4. Березуцький В.В. Основи професійної безпеки та здоров'я людини : підручник / В. В. Березуцький [та ін.] ; за ред. В. В. Березуцького. – Харків : НТУ «ХПІ», 2018. – 553 с.

5. Кулаков М.А. Цивільна оборона: навч. посіб. / М.А. Кулаков [та інш.] – Харків: НТУ «ХПІ», 2008 – 312 с.

6. Сайт Державної служби України з надзвичайних ситуацій [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://www.dsns.gov.ua/ua/Radiaciyna-nebezpeka.html>. – Дата звернення: 01.09.2019.

7. Сайт Міністерства енергетики та вугільної промисловості України [Електронний ресурс] – Режим доступу: http://mpe.kmu.gov.ua/minugol/control/uk/publish/officialcategory?cat_id=244896105. – Дата звернення: 02.09.2019.

8. Елена Шмараева Радиоактивный процесс. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://zona.media/article/2016/04/26/chernobyl> . - Дата звернення: 03.10.2019.

Розділ 6. Альтернативна енергетика

1. Титко Р. Відновлювальні джерела енергії / Р. Титко, В. Калініченко. – Варшава: OWG, 2010. – 533 с.

2. Мачулін В. Сонячна енергетика: порядок денний для світу й України / В. Мачулін, В. Литовченко, М. Стріха // Вісник національної академії наук України. – К.: Видавничий дім «Академперіодика», 2011. – № 5. – С. 30-39.

3. Півняк Г.Г. Альтернативна енергетика в Україні [Електронний ресурс] : монографія / Г.Г. Півняк, Ф.П. Шкрабець. – Нац. гірн. ун-т. Д.: НГУ, 2013. – 109 с. – режим доступу: <http://ir.nmu.org.ua/handle/123456789/3498?show=full>

4. Майстро С.В. Концептуальні засади стратегії державного регулювання та перспективи розвитку альтернативної енергетики в Україні / С.В. Майстро, О.Л. Волошин // Теорія та практика державного управління. – 2015. – №. 3(50). – С. 100-106.

5. Дзензерский В.А. Ветроустановки малой мощности / В.А. Дзензерский, С.В. Тарасов, И.Ю. Костюков – К.: Наукова думка, 2011. – 592 с.

6. Калетнік Г.М. Біопалива: ефективність їх виробництва та споживання в АПК України: навч. посібник / Г.М. Калетнік, В.М. Пришляк. –

К.: Аграрна наука, 2010. – 327 с.

7. Ковалко М.П. Електрозбереження – пріоритетний напрямок державної політики України / М.П. Ковалко, С.П. Денисюк – Київ: УЕЗ, 2005. – 506 с.

Розділ 7. Історія науки і техніки

[1] Матеріал з вільної енциклопедії [Електронний ресурс] – а Режим доступу: https://uk.wikipedia.org/wiki/Обнінська_АЕС

[2] Сайт Державного спеціалізованого підприємства «Чорнобильська АЕС» [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://chnpp.gov.ua/ua/about/history-of-the-chnpp-2/chnpp-construction>

[3] Сайт механіко-математичного факультету ЛНУ ім. Івана Франка [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://mmf.lnu.edu.ua/index.php/le/cor/item/342-160426.html>

[4] Державний архів Київської області. — Ф. Р-5603. — Оп. 1. — Спр. 1. — Арк. 12.

[5] Морозова Анна. Спогади про Чорнобиль: Стояли за 30 метрів від станції і дивилися на багряну заграву вибуху. [Електронний ресурс] / А. Морозова. — Режим доступу: <https://ua.112.ua/interview/spohady-pro-chornobyl-stoialy-za-30-metriv-vid-stantsii-i-dyvylysia-na-bahriyanu-zahravu-vybukhu-223542.html> (26 квітня 2015)

[6] Смольницька М. Чорнобиль в усній спадщині українців [Електронний ресурс] / М. Смольницька // Україна ХХ століття: культура, ідеологія, політика. – НАНУ, Інститут історії України, 2017. – Вип. 22. – С. 359-379. — Режим доступу: http://resource.history.org.ua/publ/Uxxs_2017_22_27

[7] Спогади учасників ліквідації Чорнобильської трагедії. Підполковник запасу Сергій Мельников, викладач кафедри автомобільної кафедри інженерно-технічного факультету. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://ngu.gov.ua/ua/news/spogady-uchasnykiv-likvidaciyi-chornobylskoyi-tragediyi> (25 лютого 2016)

[8] Пропусти Чорнобиль крізь душу. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://memorial.4uth.gov.ua/chernobyl-tragedy-that-will-remain-in-our-hearts-1986/photos>

[9] Спогади учасників ліквідації Чорнобильської трагедії. Полковник у відставці Самсоненко Анатолій, викладач кафедри автомобільної техніки інженерно-технічного факультету Академії. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://ngu.gov.ua/ua/news/spogady-uchasnykiv-likvidaciyi-chornobylskoyi-tragediyi> (25 лютого 2016)

ДОДАТКИ

Додаток 1

Художня, документальна література та періодика щодо Чорнобильської трагедії

1. Чернобыльский репортаж : фотоальбом. – М.: Планета, 1988. – 151 с.
2. Гуцало Є. Діти Чорнобиля / Є.Гуцало. – К. : Соняшник, 1995. – 104 с.: ілюстр.
3. Дасн Л. Чорнобиль – трава гірка: документальна повість / Л.Дасн. – К. : Веселка, 1988. – 176 с.: ілюстр.
4. Біль і тривоги Чорнобиля / упоряд. Ю.В.Сафонов. – К. : Київська правда, 2006. – 289 с.: ілюстр.
5. Ковтун Г. “Я писатиму тобі щодня...”: повість у листах / Г.Ковтун. – К. : Веселка, 1989. – 142 с.: ілюстр.
6. Марія з полином наприкінці століття: роман // Яворівський В. Вибране / В. Яворівський; передм. П.Загребельного. – К. : Український письменник, 2009. – С. 195-389.
7. Припять, Украина, СССР. 26 апреля 1986 года // Великие катастрофы XX века / авт.-сост. А.Кудрявцев. – М., 2002. – С. 414-424.
8. Левченко О.Г. Хіросіма – Нагасакі – Чорнобиль: уроки та застереження / О.Г.Левченко, Є.П.Маслов // Безпека життєдіяльності. – 2010. – № 3. – С. 25-26.
9. Медведев Г. Чернобыльская тетрадь: документальная повесть / Г. Медведев. – К. : Дніпро, 1990. – 165 с. – (Романи і повісті).
10. Мужність і біль Чорнобиля: повість-хроніка; поеми, вірші. – К. : Молодь, 1988. – 144 с.: ілюстр.
11. Фантом: сборник документальных и художественных произведений о трагических событиях на Чернобыльской АЭС. – М. : Молодая гвардия, 1989. – 239 с.: ил.
12. Преображенська Н. Кричати не можна забути: звіти ООН про наслідки Чорнобильської аварії неправдиві: ми живемо не після, а під час катастрофи / Н.Преображенська // Україна молода. – 2006. – 26 квітня.
13. Чорнобильська мадонна // Драч І. Лист до калини: поезії, поеми / І.Драч; худож. Ю.Чиканюк. – К., 1990. – С. 233-282.

Додаток 2

10 Фактів про Чорнобиль¹

1. Чорнобильській катастрофі було присвоєно 7-й рівень небезпеки за міжнародною шкалою ядерних подій INES. Повний розпад останнього радіоактивного елемента на забруднених територіях (плутонію-239) відбудеться в 26 486 році, тобто через 24 500 років після аварії.

2. Через значну радіацію ліс, що огортає територію навколо чорнобилю став яскраво-жовтого «осіннього» кольору, за що отримав назву «Рудий ліс».

3. За оцінками експертів, викид радіоактивних матеріалів під час Чорнобильської катастрофи становив 50 мільйонів кюрі, що відповідає близько 500 атомним бомбам, які в 1945 році ВМС США скинули на Хіросіму.

4. Завдяки тривалому обмеженню доступу до зони відчуження, за різноманітністю фауни ця територія може дати фору найвідомішим світовим заповідникам.

5. Міні-серіал «Чорнобиль» обійшов за популярністю Гру престолів.

6. У 2014 році група Pink Floyd зняла кліп “Marooned”, який було знято у Прип’яті.

7. Щоб потрапити до Чорнобилю необхідно подати паспортні дані в спеціальну установу за 10 днів до відвідування та отримати відповідний дозвіл.

8. Після 8 вечора в місті Чорнобиль діє комендантська година.

9. У Чорнобилі знаходиться секретна радіолокаційна станція «Дуга-2» направлена в бік США. Її завданням було вистежування літаків та ракет.

10. Село Буряківка, що розташоване на околиці Чорнобиля стало кладовищем техніки, яка використовувалася під час ліквідації наслідків аварії на ЧАЕС. Окрім техніки у відстійнику знаходиться близько 30 траншей із закопаними радіоактивними матеріалами. До 2006 року існував інший відомий могильник техніки – Розсоха (ліквідований у 2012 році). Саме тут зберігалися вертольоти, що використовувалися під час ліквідації наслідків.

Майбутнє наших дітей в наших руках лише тимчасово.
Вже незабаром наше майбутнє буде в їх руках!
С.О. Петров

[illegible]

Навчальне видання

МІНАКОВА Ксенія Олександрівна
ПЕТРОВ Сергій Олександрович
РАДОГУЗ Сергій Анатолійович
СОКОЛ Євген Іванович
ТОМАШЕВСЬКИЙ Роман Сергійович
ЛАЗУРЕНКО Олександр Павлович
СІНЧЕСКУЛ Олександр Леонідович
ЛАВРОВА Інна Олегівна
ШЕСТОПАЛОВ Олексій Валерійович
ІЛЬІНСЬКА Ольга Ігорівна
ЗАЙЦЕВ Роман Валентинович

«Слідами CHORNOBYL»

Навчальний посібник
до циклу уроків освітнього проекту
для вчителів природничих дисциплін

Відповідальний за випуск К.О. Мінакова
Роботу до видання рекомендував Л.Л. ТОВАЖНЯНСЬКИЙ

Редактор Ю.І. Веретеннікова
Дизайн обкладинки В.І. Ковшик

План 2019 р.

Підписано до друку 04.11.19. Формат 60×84 1/16. Папір друк. №2.
Друк – цифровий. Гарнітура Times New Roman. Ум. друк. арк. 2,9.
Обл.–вид. 4,1. Тираж 300 прим.

Видавничий центр НТУ «ХПІ». 61002, Харків, вул. Кирпичова, 2.
Свідоцтво про державну реєстрацію ДК № 116 від 10.07.2000 р.

Надруковано у типографії ТОВ «Друкарня Мадрид» 61024, м. Харків, вул.
Максиміліанівська, 11. Тел.: (057) 756-53-25, www.madrid.in.ua
e-mail: info@madrid.in.ua

